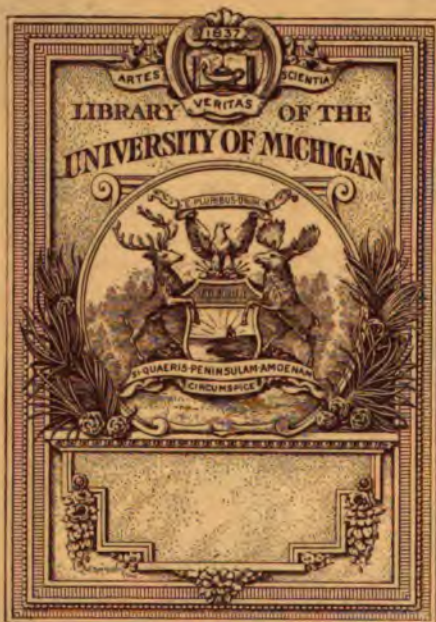

1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE



ANNALES

DU

CONSERVATOIRE

IMPÉRIAL

DES ARTS ET MÉTIERS.

Paris. — Imp. P.-A. BOURDIER et Cie, rue des Poitevins, 6.

ANNALES

DU

CONSERVATOIRE

IMPÉRIAL

DES ARTS ET MÉTIERS

PUBLIÉES PAR LES PROFESSEURS

TOME SIXIÈME

PARIS

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE

NOBLET & BAUDRY, Éditeurs,

RUE DES SAINTS - PÈRES, 15,

A BARCELONNE, Verdaguer.
BERLIN, Ernst et Korn.
ÉDIMBOURG, Williams et Norgate.
GÊNES, L. Beuf.
LA HAYE, Belinfante frères.
LEIPZIG, F.-A. Brockhaus.
LONDRES, Barthès and Lowell.
A MADRID, Bailly-Baillière.
MOSCOU, Gautier.
NAPLES, Pellerano.
NEW-YORK, Bossange et fils.
SAINT-PÉTERSBOURG, J. Issakoff.
TURIN et FLORENCE, Bocca frères.
VIENNE, C. Gerold.

1865 - 66

INTRODUCTION

AU SIXIÈME VOLUME.

En se décidant à créer, en 1860, cette publication, les professeurs du Conservatoire impérial des Arts et Métiers s'exprimaient, dans leur introduction au premier volume, dans les termes suivants :

« L'enseignement du Conservatoire impérial des Arts et Métiers est le plus populaire qui soit en France. Constitué avec toutes les ressources de la science, initié à tous les développements de l'industrie, dont il a pour mission de faire connaître les progrès, il est pour elle une source féconde de connaissances utiles, un guide sûr dans les applications.

« C'est parce qu'il répond réellement aux besoins de l'époque que l'enseignement du Conservatoire a été successivement doté de nouvelles chaires. Au nombre de quatorze aujourd'hui, elles embrassent les sciences physiques et mathématiques les plus importantes, ou elles sont spécialement affectées aux industries spéciales du pays. Les données économiques de l'industrie des différents peuples y sont enseignées avec le plus grand soin.

« Par ses cours et par son musée, le Conservatoire occupe incontestablement le premier rang parmi tous les établissements analogues des autres peuples, chez qui l'enseignement technologique se développe cependant depuis quelques années.

« Pour aider encore aux ressources qu'offre ce grand établissement à l'étude des sciences et des arts utiles, on a pensé qu'une publication spéciale, rédigée en partie par MM. les Professeurs du Conservatoire, serait accueillie avec plaisir. Les *Annales du Conservatoire* constitueront au dehors un organe de publicité répondant au même objet que son enseignement.

« Sans écarter de leur cadre les questions scientifiques d'un ordre élevé, les *Annales* seront plus spécialement consacrées aux applications de la science. Les rédacteurs s'attacheront à faire ressortir, à l'aide d'expériences certaines, les relations des données pratiques et de la théorie. »

Cinq années de ce recueil sont aujourd'hui publiées, et les rédacteurs se sont efforcés de remplir leur programme avec une scrupuleuse exactitude. La plupart des revues techniques étrangères ont reproduit les résultats des expériences faites au Conservatoire, qui ont été publiées dans les *Annales*, et l'on peut dire qu'un nouveau genre de recueil a été en quelque sorte inauguré par cette publication : c'est celui qui consiste à enregistrer des faits et à les commenter en eux-mêmes, d'après les chiffres irrécusables résultant de déterminations faites *de visu*.

Le but est aujourd'hui atteint, et la plupart des inventions de quelque importance, dont les auteurs se sentent assez forts pour ne pas redouter un contrôle sérieux, mais toujours bienveillant, sont incessamment apportées au Conservatoire et acceptées, dans la mesure des résultats obtenus, par l'opinion du public intéressé. Les expositions elles-mêmes sont venues nous aider dans

l'accomplissement de cette tâche. Appréciées au point de vue général par les jurys spéciaux, les inventions qui s'y produisent sont plus spécialement examinées au Conservatoire par l'étude expérimentale auxquelles elles donnent lieu et par la détermination des données les plus importantes qui en découlent.

Les Professeurs qui ont pris l'initiative de cette publication se sont proposés d'y faire paraître une revue annuelle des progrès des différentes industries, et des découvertes scientifiques qui les intéressent. Les expositions qui se multiplient et qui, en devenant internationales, peuvent si utilement servir à la divulgation des meilleurs procédés, permettront fréquemment, et particulièrement à l'occasion de l'Exposition universelle de 1867, de donner à cette partie du recueil des développements plus étendus. C'est pour répondre à cet objet que le nombre des planches sera plus que triplé à l'avenir.

Un bulletin bibliographique sera spécialement consacré aux publications industrielles de l'Allemagne et de l'Angleterre, et les travaux les plus remarquables, publiés en langues étrangères, seront traduits dans leurs parties essentielles.

Les cinq premiers volumes ont été publiés sous la direction de M. Ch. Laboulaye, que nous sommes heureux de remercier publiquement de son excellent concours. Son utile collaboration reste acquise à la rédaction des Annales que MM. les professeurs publient aujourd'hui par eux-mêmes.

MM. Noblet et Baudry se sont chargés, comme éditeurs, de la suite de la publication.

MÉMOIRE

SUR L'ÉCOULEMENT DES CORPS SOLIDES,

PAR M. H. TRESCA.

Ce mémoire, qui a été présenté à l'Académie dans sa séance du 7 novembre 1864, n'a pas encore été publié *in extenso*. Il forme la première partie de nos études sur l'écoulement des corps solides et a fait, dans la séance du 12 juin 1865, l'objet d'un rapport de M. le général Morin, au nom d'une commission composée de MM. Pouillet, Piobert, Duhamel et Morin. Ce travail devant être prochainement suivi de nouvelles recherches sur la même question, nous avons pensé qu'il ne serait pas sans intérêt de le reproduire en entier dans sa forme primitive. H. T.

Le Mémoire que nous présentons à l'Académie a pour objet :

1° De montrer, par les résultats de nombreuses expériences, que les corps solides peuvent, sans changer d'état, s'écouler à la manière des liquides lorsqu'on exerce à leur surface des pressions suffisamment grandes;

2° De donner la théorie de cet écoulement et d'indiquer les déductions les plus importantes que l'on peut en tirer pour l'étude des mouvements moléculaires, pour celle du travail mécanique qu'ils exigent et pour diverses autres applications.

Les mêmes phénomènes d'écoulement y sont constatés pour les métaux mous et les métaux durs, pour les matières plastiques telles que les pâtes céramiques, pour les matières pulvérisées telles que les grès, pour les matières grenues telles que le

plomb de chasse, et d'une manière moins complète pour les liquides eux-mêmes.

La nouvelle analogie qu'ils constatent entre tous ces corps, sous leurs différents états, nous permettra de jeter quelque lumière sur l'écoulement des liquides et sur les entraînements latéraux que ces écoulements déterminent dans un grand nombre de circonstances.

Ce travail n'a point été fait par suite d'idées préconçues et comme un but que nous nous étions tout d'abord proposé d'atteindre.

Il ne s'est présenté à nous qu'à la suite d'expériences variées, réalisées en premier lieu dans des circonstances complexes, que nous nous sommes efforcés de ramener de plus en plus à des conditions simples, et telles que les lois des phénomènes puissent être facilement étudiées.

Les essais préliminaires nous ont fourni des résultats qui, pour n'être pas compris dans la présente communication, ne seront pas néanmoins inutiles. Nous les retrouverons ultérieurement, lorsqu'à l'aide des principes que nous nous efforcerons d'établir aujourd'hui, il nous sera permis d'envisager, avec les moyens d'investigation les mieux appropriés, ces phénomènes plus compliqués, dont ceux que nous allons décrire doivent contribuer à nous donner l'explication.

Parmi ces nombreux essais, nous nous bornerons à citer trois expériences, qui suffiront à faire connaître l'ordre logique de nos recherches, et que nous regardons comme fondamentales.

Ces expériences sont en quelque sorte les têtes de chapitres de séries d'études nouvelles, en partie ébauchées, et elles trouveront plus méthodiquement leur place dans les travaux que nous aurons ultérieurement à présenter sur le même sujet.

Nous ne voulons en tirer aujourd'hui que des conséquences générales, se rattachant, par quelque lien, à la question de l'écoulement des corps solides, et en nous réservant de revenir en temps convenable sur les circonstances de détail et sur les données numériques qu'on peut en tirer.

L'une de ces expériences est relative au poinçonnage des métaux; la seconde à l'écrasement d'un cylindre composé de plaques superposées; la troisième à l'écoulement simultané d'un bloc cylindrique de métal, par sa surface latérale et par un ori-

fice central, perpendiculaire à son axe. On voit par ces énoncés que ce sont là trois types distincts, touchant par trois côtés différents à la question de la transmission des pressions dans les corps solides ou par leur intermédiaire.

Expérience du 22 avril 1864 sur le poinçonnage d'un bloc rectangulaire formé de seize plaques de plomb.

Ces plaques étaient carrées, de $0^m,120$ de côté; chacune d'elles avait 4 millimètres d'épaisseur, et le bloc total une épaisseur de $0^m,064$. Elles ont été placées les unes sur les autres et serrées légèrement entre deux plateaux, percés chacun d'un trou de 20 millimètres de diamètre, bien alésé à la dimension d'un poinçon assez long pour traverser de part en part. L'action d'une presse hydraulique étant appliquée à l'extrémité du poinçon, celui-ci a pénétré dans le métal qu'il a chassé devant lui sous la forme d'un cylindre de 20 millimètres de diamètre, et d'une hauteur de 31 millimètres seulement.

Cette réduction de hauteur avait déjà été obtenue dans le poinçonnage d'un bloc de mêmes dimensions, mais fondu d'une seule pièce.

Ainsi, la *débouchure*, qui aurait dû avoir une hauteur de 64 millimètres, n'en avait réellement que 31; la densité du métal n'avait cependant pas changé, et l'expérience tentée avec les plaques devait décider la question de savoir comment s'était produite l'élimination de la moitié du métal qui occupait d'abord l'emplacement rempli plus tard par le poinçon.

Voici cette débouchure du 22 avril (pl. XXVI, fig. 1); elle est curieuse à plus d'un titre. En la sciant par l'axe et en la rabotant ensuite, on y a retrouvé les 15 lignes de joints du bloc primitif; mais tandis que la plaque supérieure et les trois plaques inférieures y avaient à peu près conservé leur épaisseur primitive, toutes les plaques intermédiaires n'étaient représentées dans la débouchure que par une épaisseur très-réduite, ainsi qu'on peut en juger par la table des mesures prises à partir de la face inférieure.

L'élimination s'était donc faite latéralement et dans la partie supérieure du bloc, alors sans doute que la résistance dans le sens horizontal était moindre que celle de toutes les couches placées au-dessous du poinçon.

Tableau des épaisseurs des plaques mesurées dans l'axe du jet.

NUMÉROS des plaques dans la débouchure.	DISTANCES des lignes de joint à l'extrémité de la débouchure.	ÉPAISSEURS des plaques mesurées suivant l'axe.	NUMÉROS des plaques dans la débouchure.	DISTANCES des lignes de joint à l'extrémité de la débouchure.	ÉPAISSEURS des plaques mesurées suivant l'axe.
	millimètres.	millimètres.		millimètres.	millimètres.
1	4.6	4.6	9	23.4	0 7
2	9.0	4.4	10	23.9	0.5
3	13.0	4.0	11	24.2	0.3
4	16.2	3.2	12	24.6	0.4
5	20.0	2.8	13	24.8	0.2
6	20.8	1.8	14	25.3	0.5
7	22.0	1.2	15	26.9	1.6
8	22.7	0.7	16	31.3	4.4

La première conséquence à tirer de ce fait consiste en ce que la pression exercée verticalement par le poinçon se transmet latéralement dans le solide et repousse la matière jusqu'à ses parois, dans la direction où la résistance est la plus petite.

Mais cette observation, qui est certainement un des résultats dominants du travail actuel, n'est pas la seule que l'on puisse faire sur ce petit échantillon, et l'on y trouve déjà l'indice de la concentricité des couches que nous rencontrerons plus loin dans des circonstances plus simples et mieux définies.

Les lignes de joint se sont légèrement courbées dans la partie qui avoisine l'axe de la débouchure, et quand on cherche à les suivre sur le bord à l'aide du grossissement d'une loupe, on reconnaît qu'elles aboutissent toutes aux deux extrémités du diamètre supérieur de la pièce, chacune des plaques formant ainsi une sorte de capsule, à bords très-minces, enveloppant de toutes parts les capsules supérieures, et se trouvant à son tour recouverte par les capsules placées au-dessous d'elle dans l'ordre de superposition primitif.

Chacune des plaques n'a donc été détachée du bloc qu'après s'être en quelque sorte laminée par ses bords à la manière d'un fil de verre que l'on étire pendant qu'il est encore à la température qui le rend malléable.

Cette disposition des couches dans la débouchure a d'ailleurs son analogue dans le bloc percé. Chacune des plaques traversées par le poinçon s'est infléchie au passage de l'outil, puis effilée

jusqu'à sa sortie, de manière à être prolongée sous la forme d'un tube mince, et dans de telles conditions que la paroi tout entière du trou de poinçonnage est uniquement formée par le tube provenant de la plaque supérieure, tube qui est successivement recouvert, à l'intérieur de la masse, par les tubes qui forment respectivement les élongations de chacune des plaques primitives.

Que le phénomène se produise par compression ou par étirage, toujours est-il que les diverses parties de la matière ne se séparent qu'après être restées adhérentes aussi longtemps que l'action mécanique s'est prolongée.

Les plaques étant ainsi embouties les unes dans les autres ne peuvent être séparées sans déchirure. Mais la disposition même de ces déchirures permet de vérifier plus facilement les indications sommaires que nous venons de donner.

Nous avons conservé la plaque nº 6 (fig. 2) avec les tubes déchirés qui l'accompagnent et qui appartiennent d'une part aux plaques 3 à 5 qui étaient au-dessous d'elle, d'autre part aux plaques 7 à 13 qui la recouvraient dans le bloc. Les autres parties de ces tubes déchirés sont restées adhérentes aux différentes plaques.

En rabotant des blocs semblables coupés suivant l'axe, on retrouve d'ailleurs toutes les lignes de joint, et la constitution tubulaire apparaît avec la dernière évidence. Préservées qu'elles sont par les pressions transmises par les couches voisines, chacune des plaques paraît ainsi douée d'une malléabilité plus parfaite, qui lui permet de se laminer jusqu'à la plus petite épaisseur sans se déchirer. Nous remarquerons cette précieuse propriété de la matière dans presque tous les exemples que nous aurons à citer.

Nous avons depuis lors retrouvé dans les débouchures des grosses tôles de fer, produites dans les ateliers de constructions mécaniques, la même élimination latérale et les mêmes capsules, accusées par la déformation des lignes de joint formées par les *mises* dont chaque paquet de tôle est composé avant le soudage. Nos premières observations sur le poinçonnage du plomb se trouvent ainsi vérifiées pour un métal dur, comme le fer, poinçonné à froid.

Expérience du 3 juin 1864 sur l'écrasement d'un bloc cylindrique formé de vingt plaques de plomb.

Ces vingt plaques avaient ensemble une épaisseur de $0^m,063$, et un diamètre commun de $0^m,060$.

Ce diamètre a été porté par l'écrasement jusqu'à $0^m,110$ au milieu de la hauteur, et jusqu'à $0^m,103$ et $0^m,105$ sur les bords, la hauteur primitive se trouvant alors réduite à $0^m,018$. Toutes les plaques ne se sont pas comportées de la même façon. Les plaques extrêmes (fig. 3) ont à peine augmenté de diamètre, et les bords des plaques intermédiaires se sont déversés tout autour des premières, de manière à former avec celles-ci les faces supérieure et inférieure du bloc écrasé.

La galette ainsi formée ayant été coupée suivant l'axe, on a reconnu que les déformations étaient loin d'être identiques pour toutes les plaques. On voit au contraire qu'il s'est produit, surtout au centre du bloc, un écoulement de l'axe à la circonférence, et les lignes de joint, qui étaient d'abord parallèles, forment, après la compression, une sorte de gerbe, très-resserrée au milieu et très-épanouie sur les bords, qui montre bien comment les déplacements des molécules se sont effectués.

M. le général Poncelet avait depuis longtemps signalé, comme résultant de la résistance due au frottement, le retard des bases du cylindre que l'on écrase, par rapport à l'épanouissement plus marqué qui se produit au milieu de la hauteur ; mais ce retard est beaucoup plus considérable en réalité que la forme extérieure ne pouvait le faire supposer, puisque l'expérience actuelle démontre que la paroi verticale se replie dans le plan de la base de manière à augmenter le diamètre de la portion occupée par la base primitive. Les lignes de joint de cette paroi verticale viennent se placer concentriquement les unes par rapport aux autres, et chacun des plans de joints primitifs se transforme en une sorte de surface de révolution dont le plus grand parallèle est situé à une petite distance de l'une ou de l'autre base.

Nous avons surtout cité cette expérience, parce que l'échantillon reproduit par le dessin ci-joint justifie d'une manière frappante l'expression un peu hardie, en apparence, que nous employons lorsque nous parlons de l'écoulement des solides.

Ce bloc de vingt plaques avait été comprimé entre deux pièces de métal. L'une de ces pièces était en fonte, dressée à la lime, et l'épanouissement s'est fait, sur la surface de contact avec cette pièce, suivant la disposition concentrique que nous avons indiquée. L'autre pièce de support était une plaque de tôle finement rabotée à la machine et conservant encore les stries du burin. Ces stries, toutes parallèles, formaient autant de petits canaux, presque microscopiques, puisqu'on en compte jusqu'à trois par millimètre; ils ont suffi cependant pour que le métal refoulé s'y écoule avec une facilité plus grande que dans le sens perpendiculaire; aussi les lignes de joint qui se sont moulées successivement sur cette surface sont-elles toutes ovalisées dans le même sens, et les cercles de la paroi cylindrique du bloc se sont-ils transformés en sortes d'ellipses, dont le grand axe est parallèle aux lignes de rabotage.

Ce même fait s'est reproduit dans un grand nombre d'expériences, et il serait, à lui seul, suffisant pour mettre en lumière cette fluidité relative des corps solides sous les grandes pressions.

Expérience du 24 août 1864 sur l'écoulement simultané d'un bloc formé de deux plaques de plomb, par le bord et par le centre.

Deux plaques de plomb de 3 millimètres d'épaisseur et de 100 millimètres de diamètre ont été placées dans l'axe d'un balancier. Elles reposaient sur une plaque percée à son centre d'un orifice de 20 millimètres de diamètre, et l'on avait placé sur la face supérieure de la seconde plaque un cylindre en acier, à arêtes vives, de 50 millimètres de diamètre.

La compression ayant été déterminée par dix coups de balancier successifs, on a enlevé les différentes pièces, et l'on a reconnu que l'épaisseur primitive des plaques avait été réduite à 2 millimètres dans toute la partie comprise entre les deux faces des pièces de métal par l'intermédiaire desquelles la pression avait été transmise.

Dans toute cette partie, les deux faces étaient restées planes, ainsi que la surface de joint; mais à l'extérieur et au centre, les plaques avaient éprouvé des modifications de forme très-considérables et très-caractéristiques.

A l'extérieur (fig. 4), les plaques se sont recourbées en forme de tulipe; leur épaisseur a été graduellement en s'amincissant, comme si le jet de matière que la pression expulsait avait à chaque instant une épaisseur déterminée par l'épaisseur même de la partie comprimée des deux plaques à ce même moment.

Cette tulipe, très-régulière, rappelle, dans des conditions plus géométriques, les belles feuilles d'acanthe obtenues par MM. Piobert, Morin et Didion, dans leurs expériences sur le tir des projectiles dans le plomb.

Nous pouvons aujourd'hui déterminer la nature des surfaces ainsi transformées; mais il nous suffit, pour le moment, d'indiquer que cette transformation résulte géométriquement de l'écoulement graduel du métal par l'anneau cylindrique compris entre les deux parois qui exercent la compression et de la résistance que l'anneau ainsi expulsé à chaque instant éprouve par suite de sa liaison avec les molécules voisines, déjà introduites dans la partie épanouie de la nappe. Nous nous servons à dessein de cette expression qui a l'avantage de désigner d'un seul mot le véritable caractère de ce phénomène.

Au centre, les modifications sont de même ordre, et nous nous bornerons à les indiquer d'autant plus brièvement que l'étude des actions qu'elles constatent doit constituer, dans des circonstances plus simples, la partie la plus sérieuse de notre mémoire.

Au centre, le métal est entré dans l'orifice de deux centimètres de diamètre qui avait été ménagé dans la pièce inférieure de support. Les plaques y ont formé un véritable jet, creux au centre, et dont les parois diminuent d'épaisseur, comme celles de l'épanouissement produit à l'extérieur des plaques. Ce nouvel écoulement a entraîné, avec les parois, les parties centrales des deux plaques, et, ainsi transportées à l'extrémité du jet, ces parties centrales forment de véritables calottes qui ferment la cuvette par le bas, et dont l'unique déformation semble consister en ce que la surface extérieure, qui était d'abord plane, est devenue très-notablement convexe au dehors.

Cet exemple prouve très-clairement que la pression verticale déterminée, entre les deux supports, par le choc s'est transmise au travers de la masse de plomb jusqu'aux parois libres, à l'extérieur et au centre, et que son action a produit deux jets de

formes différentes, mais offrant l'un et l'autre cette double particularité, que l'épaisseur de la paroi va successivement en diminuant, et que les surfaces primitivement planes se transforment en surfaces de révolution, se rapprochant plus ou moins de la forme d'un cylindre et paraissant le résultat de deux actions contraires ; l'une d'elles est du fait de la pression transmise, et l'autre dépend de la solidarité des molécules ou de la cohésion de la matière.

On ne peut expliquer autrement cette circonstance qui semble tout d'abord paradoxale, d'un vide qui se forme dans le jet, précisément sur le seul point où la pression qui devrait être transmise à la masse de plomb n'est pas contre-balancée par la résistance du support inférieur.

Nous ajouterons, à titre de remarque seulement, que le jet, au lieu d'être cylindrique à l'extérieur, se contracte d'autant plus, que l'épaisseur primitive des plaques est plus réduite dans le bloc et dans le jet. De là une nouvelle analogie avec l'écoulement des liquides ; elle nous permettra plus tard d'analyser les raisons qui déterminent, pour toutes les substances, les effets de contraction depuis longtemps observés dans l'écoulement des fluides.

L'expérience que nous venons de décrire, considérée dans son ensemble, réalise pour nous le double écoulement que l'on peut obtenir simultanément par un orifice de fond, au centre, et à l'extérieur, par déversement sur une sorte de déversoir circulaire.

Elle avait été faite beaucoup plus tôt sur d'autres échantillons, en déterminant la pression au moyen d'une presse hydraulique; mais, afin de varier autant que possible les éléments mécaniques de la question, nous avons pensé qu'il était préférable, dans cette troisième indication d'expérience, d'appeler l'attention sur l'un des échantillons obtenus par l'action du choc d'un balancier. La presse fournit des résultats analogues.

L'influence de la partie extérieure des plaques est complétement mise en évidence par l'échantillon du 28 août (fig. 5), qui a été obtenu dans des conditions identiques, mais avec des plaques dont le diamètre primitif était seulement de 50 millimètres.

MÉTHODE GÉNÉRALE D'EXPÉRIMENTATION.

Les exemples qui précèdent indiquent déjà la méthode que nous avons suivie dans toutes nos expériences sur l'écoulement des corps solides. Afin de pouvoir reconnaître les déplacements relatifs des diverses parties de la masse sur laquelle nous voulions agir, nous avons décomposé nos solides en plusieurs pièces dont les surfaces de joints, connues à l'avance, se transformaient à chaque modification apportée à la forme primitive. Cette décomposition, pour ne produire aucune altération dans les déplacements relatifs, aurait dû être corrigée par une réunion intime et, en quelque sorte, moléculaire des diverses parties entre elles; mais nous avons autant que possible échappé à cette difficulté en prenant pour surfaces de joints des plans parallèles ou perpendiculaires aux principaux mouvements à produire.

Pour les pâtes céramiques et pour les métaux mous, l'adhérence était bientôt assurée, dès la première application d'une pression énergique. Mais pour les métaux durs, nous avons souvent remarqué que cette adhérence ne se produisait complète qu'à la suite de déplacements assez grands.

Dans d'autres circonstances, nous avons adopté des surfaces de joints cylindriques, particulièrement lorsque nous avons voulu étudier de plus près les déplacements produits autour de l'axe de figure de ces cylindres. Les expériences ainsi faites nous ont donné les résultats les plus concluants.

Dans nos premiers essais sur le poinçonnage des plaques de métal, nous avions enduit les surfaces de séparation avec une couche de peinture à la céruse, mais nous nous sommes bientôt aperçus qu'il était possible de retrouver les lignes de joint dans la masse déformée, en rabotant très-finement les coupes faites à la scie ou par tout autre moyen. Nous avons ainsi obtenu, après les tâtonnements inséparables des opérations de cette nature, des lignes de joint plus fines et plus régulières qu'on ne pourrait les produire par la gravure, et c'est cette netteté dans les résultats qui nous a surtout engagé à mettre sous les yeux de l'Académie la plus grande partie de nos échantillons.

Les expériences dont nous voulons aujourd'hui l'entretenir

sont exclusivement relatives à l'étude de la composition des jets qui se forment, lorsque après avoir placé dans un cylindre un bloc composé de rondelles de matière homogène, qui en occupent toute la section, on exerce sur l'une des bases de ce bloc un effort suffisant pour que la matière s'écoule par un orifice circulaire plus ou moins grand et concentrique avec le cylindre.

La pression, qui a dû s'élever quelquefois jusqu'à 100 000 kil., a été déterminée, soit par des poids, soit par une presse hydraulique, soit par le choc d'un puissant balancier.

Le cylindre renfermant les rondelles a varié de forme et de dimensions, suivant l'effet à produire; le jet s'est toujours formé, par son passage dans l'orifice d'une matrice en fer ou en acier, à arêtes vives; il a toujours été produit dans une direction verticale, soit de haut en bas, comme dans le cas le plus ordinaire de l'écoulement des liquides, soit de bas en haut, lorsque nous tenions à obtenir des jets longs et à inscrire les mesures des allongements partiels en regard des efforts exercés.

La presse hydraulique qui nous a le plus constamment servi est celle de M. Hick et fils, de Bolton, qui a été achetée par le Conservatoire à l'exposition de 1851. Les quatre corps dont elle se compose assurent une égale répartition de la pression sur tous les points du plateau, et l'orifice ménagé au centre du sommier supérieur nous a permis d'y faire passer des jets dont la longueur dépassait de beaucoup la distance libre entre les plateaux. Cette presse est celle qui nous sert depuis longtemps pour nos expériences sur la résistance des matériaux à l'écrasement. Elle a été munie dans ce but de deux manomètres à piston différentiel, du système de M. Galy Cazalat, et les tares de ces instruments ont été précédemment contrôlées jusqu'à une certaine limite et rectifiées par des observations spéciales faites sous l'action de charges directes.

Le balancier que possède le Conservatoire n'a pu servir que dans quelques essais préparatoires : les expériences sur l'écoulement du cuivre et de l'acier n'ont pu être convenablement faites qu'avec le grand balancier de l'atelier de M. Barre, graveur général des monnaies. Nous ne saurions trop le remercier de l'obligeance avec laquelle il a bien voulu se prêter à quelques-uns de nos essais, en mettant à notre disposition ce balancier, qui, anciennement employé au monnayage des pièces de

cinq francs, a été muni, par ses soins, d'une transmission du système Chéret, permettant de faire fonctionner ce puissant appareil sous l'action d'une machine à vapeur.

Nous avons dit que pour les métaux, nous avions été conduit à supprimer tout enduit entre les plaques superposées. Il n'en a pas été de même pour les pâtes céramiques : la trace des séparations n'a pu être conservée qu'en saupoudrant chaque plaque avec un soufflet chargé d'ocre rouge finement pulvérisé. Cette matière colorante a formé, dans certains cas, des traits aussi fins et aussi réguliers que les lignes de séparation des plaques de métal.

Dans nos expériences sur les matières pulvérulentes, nous avons coloré tous les éléments qui devaient participer à l'écoulement, ou plutôt nous avons employé des poudres, diversement colorées, et distribuées par couches horizontales dans le cylindre qui devait servir à la compression. Pour conserver les jets obtenus, nous avons ensuite imprégné toute la masse avec de la cire fondue, qui a lié entre eux tous les grains et qui a permis de scier les échantillons ainsi consolidés, comme l'avaient été ceux en métal, et ceux en pâte céramique après leur dessiccation.

Pour la grenaille de plomb, nous avons opéré d'une manière tout à fait analogue; mais ces expériences, en quelque sorte secondaires, n'avaient d'autre objet que de retrouver dans les jets la même disposition en couches concentriques qui s'était si uniformément présentée dans la composition des jets formés par les matières homogènes.

Le même procédé a été encore appliqué à l'observation de l'écoulement de deux liquides superposés; mais il ne nous a été possible jusqu'ici de conserver aucune trace permanente de la forme tubulaire également observée dans ce cas.

DESCRIPTION DES EXPÉRIENCES FAITES.

Déjà nous avons dit que les expériences auxquelles ce mémoire est consacré ne concernent qu'un cas particulier de l'écoulement des corps solides. Nous avons attaché une importance d'autant plus grande à varier ces expériences que nous nous placions ainsi dans les conditions les plus comparables

avec le cas le plus ordinaire de l'écoulement des liquides, celui qui est décrit et figuré dans tous les traités d'hydraulique et qui est relatif à la veine formée par un orifice circulaire, ménagé au centre de la base inférieure d'un vase cylindrique rempli de liquide.

Ce liquide a été seulement remplacé par un bloc cylindrique de matière homogène, et l'action de la gravité par celle d'une pression énergique.

La collection des procès-verbaux de chacune de nos expériences, avec sa date et le dessin de chaque échantillon, constitue une sorte de classification énumérative de tous les essais; les résultats ayant été constamment satisfaisants, nous n'avons eu à éliminer aucune expérience, et les conséquences auxquelles nous serons conduit par leur examen offriront cette sécurité particulière de ne pouvoir être infirmées par aucune indication contraire.

Expériences sur les métaux.

La pression dont nous disposions nous a permis d'opérer sur des blocs de plomb de 10 centimètres de diamètre, et de hauteurs variées; mais pour les métaux plus durs, nous avons dû employer des diamètres moindres, de $0^m,050$ et $0^m,037$. Nous donnerons séparément l'énumération des expériences faites dans chacune de ces séries.

Série de $0^m,10$ de diamètre.

Toutes les expériences de cette série ont été faites exclusivement sur le plomb et par l'action de la presse hydraulique. L'appareil spécial, construit pour les essais, était muni de trois pièces de rechange ou matrices mobiles devant former le fond du cylindre. Ces matrices sont respectivement percées d'un orifice de grandeur différente, et elles ont servi à produire les jets de $0^m,020$, de $0^m,030$ et de $0^m,040$ de diamètre.

Expériences faites avec la matrice de $0^m,020$.

Ces expériences sont au nombre de douze; mais deux d'entre elles correspondent au même échantillon.

Le nombre des plaques a varié de 2 à 20, ce qui correspond à

des blocs de 0m,0062 et de 0m,063. Le plus long jet a une longueur totale de 0m,638; les pressions ont varié de 54 000 à 90 000 kilog.

Voici d'ailleurs le tableau de toutes ces opérations :

DATES des EXPÉRIENCES.	NOMBRE des PLAQUES.	ÉPAISSEURS primitives des blocs.	LONGUEURS des JETS PRODUITS.
		millimètres.	millimètres.
24 juin	2	6.2	10.0
21 juin	2	6.2	18.0
6 juillet	2	6.2	23.0
21 juin	3	9.3	53.0
6 juillet	4	12.5	99.0
20 juin	5	15.5	65.0
18 octobre	6	18.2	199.5
18 juin	10	32.0	10.0
24 juin	10	31.5	250.0
25 juin	10	31.5	297.0
19 juin	15	48.0	52.0
29 juin	20	63.0	638.0

Les trois premiers jets sont creux au centre; tous les autres sont pleins dans toute leur longueur.

Expériences faites avec la matrice de 0m,030.

Ces expériences, également au nombre de douze, offrent plus de variété que les précédentes, ainsi qu'on en peut juger par le tableau suivant :

DATES des EXPÉRIENCES.	NOMBRE des PLAQUES.	ÉPAISSEURS primitives des blocs.	LONGUEURS des JETS PRODUITS.
		millimètres.	millimètres.
20 octobre	1	3.0	15.0
29 juillet	2	6.0	39.0
23 octobre	5	15.1	50.0
20 octobre	6	18.2	118.0
29 juillet	10	30.0	150.0
29 juillet	10	30.0	200.0
29 juillet	10	30.0	250.0
17 septembre	10	30.0	152.5
22 septembre	10	30.6	154.0
5 novembre	3	30.4	160.5
19 août	14	42.0	328.0
22 août	20	60.0	395.0

Les quatre premiers jets, ainsi que le sixième, sont plus ou moins creux au centre.

Ceux des 17 et 22 septembre et celui du 5 novembre présentent cette circonstance particulière qu'ils montrent la déformation de la surface cylindrique qui, dans le bloc primitif, occupait, avant la compression, l'espace formant le prolongement du jet.

Nous verrons plus loin que ces déformations sont tout à fait caractéristiques.

Enfin, les deux dernières expériences ont été faites en rechargeant successivement le bloc par de nouvelles plaques après un écoulement interrompu. Ces deux échantillons présentent à la surface extérieure les bourrelets saillants dont il sera parlé dans une autre partie de ce mémoire.

La figure 6 représente à l'échelle de 0.666 l'échantillon de la deuxième expérience du 29 juillet.

Expériences faites avec la matrice de $0^m,040$.

Les expériences faites avec la matrice de $0^m,040$ ont été surtout remarquables par la production des jets creux et par la régularité des surfaces intérieures des cavités.

Elles sont seulement au nombre de huit; tous les écoulements ont été faits dans des conditions simples, et, à l'exception du seul échantillon de 20 plaques, du 22 juillet, dans lequel le bloc a conservé une hauteur finale de $0^m,028$, on doit remarquer que les cavités centrales se sont toujours formées, soit dès le commencement, pour les expériences qui ne comportaient qu'un petit nombre de plaques, soit à la fin de l'écoulement, lorsque la hauteur du bloc était suffisamment réduite. C'est là ce qui est arrivé le 27 juillet, dans l'essai principal de 30 plaques.

La figure 7 représente l'échantillon obtenu le 27 juillet avec quatre plaques; des expériences spéciales ont fait voir que la paroi de la poche *mnp* représente le cercle de rayon R_1 que l'on aurait tracé concentriquement sur la face supérieure de la dernière plaque.

DATES des EXPÉRIENCES.	NOMBRES DES PLAQUES.	HAUTEUR PRIMITIVE des blocs.	LONGUEURS des JETS OBTENUS.
		millimètres.	millimètres.
27 juillet............	2	6.0	39.0
23 octobre...........	3	9.0	52.0
27 juillet............	4	12.0	75.0
27 juillet............	5	15.0	72.0
17 octobre...........	8	24.0	127.0
22 juillet............	10	31.0	141.0
22 juillet............	20	62.0	202.2
27 juillet............	30	90.0	500.0

En résumé, les trente-deux expériences faites sur le plomb avec l'appareil de $0^m,100$ de diamètre, sont représentées par 34 échantillons, qui ont tous été mis sous les yeux de l'Académie. Les autres métaux n'ont pu être soumis à des essais analogues que dans des appareils de moindre diamètre.

Série de $0^m,050$ de diamètre.

Deux appareils de cette dimension ont été construits. L'un d'eux, spécialement disposé pour les expériences à faire avec le balancier que possède le Conservatoire, a éprouvé, lorsqu'on a voulu s'en servir sous la presse, des dérangements assez marqués pour qu'il ait été nécessaire de l'ajuster à nouveau et de le consolider. On n'a employé avec cet appareil que des matrices de $0^m,020$ de diamètre; mais on a profité de la diminution de surface pour agir sur des métaux plus durs : l'étain, le cuivre et l'argent.

L'étain s'écoule comme le plomb; mais il exige, à égalité de conditions, une pression que l'on peut évaluer au double de celle qui est nécessaire pour ce dernier métal.

Le cuivre, sous ces dimensions, s'est peu modifié dans sa forme; et, bien que ces modifications soient exactement du même ordre que celles obtenues avec les métaux moins durs, on ne saurait les regarder pour concluantes. D'ailleurs, ce métal s'écrouit vite, et il n'a pas été, dans ces premières expériences, convenablement recuit.

L'argent que nous avons employé est l'alliage à 200 millièmes de zinc, proposé par M. Péligot.

Les flans, préparés dans les ateliers de MM. Christofle et Ce, étaient très-malléables, et ils ont fourni un jet très-régulier sous la presse, à la condition de donner assez fréquemment des recuits.

Voici l'indication générale de toutes les expériences faites avec l'appareil de 0m,050 :

DATES des EXPÉRIENCES.	NOMBRES des PLAQUES.	ÉPAISSEUR primitive DU BLOC.	LONGUEURS DES JETS produits.	DÉSIGNATION de l'appareil de compression.
Expériences sur le plomb.				
		millimètres.	millimètres.	
10 octobre. . .	1	3.0	42.7	Presse.
29 septembre.	3	9.3	56.6	Presse.
29 septembre.	5	20.0	121.8	Presse.
Expériences sur l'étain.				
15 octobre. . .	1	4.0	55.0	Presse.
2 septembre.	2	8.0	16.9	Balancier.
3 septembre.	2	8.0	40.0?	Presse.
8 septembre.	2	8.5	36.7	Presse.
16 septembre.	3	12.0	59.7	Presse.
21 septembre.	5	20.0	119.6	Presse.
Expériences sur le cuivre.				
2 septembre.	1	4.0	0.42	Balancier.
5 septembre.	2	7.8	1.55	Presse.
17 septembre.	2	8.0	2.12	Presse.
Expérience sur l'argent.				
10 octobre. . .	4	8.0	21.46	Presse.

Les blocs ayant toujours eu une épaisseur très-faible, tous les jets de cette série sont creux; il n'y a d'exception que pour les blocs qui avaient primitivement 0m,020, et encore les jets auxquels ils ont donné lieu présentent-ils des cavités très-marquées à la fin de l'écoulement.

Dans le jet d'argent, les différents tubes peuvent se séparer les uns des autres dans la coupe faite par l'axe.

Série de $0^m,037$ de diamètre.

Afin d'obtenir, avec les métaux les plus durs, des jets mieux caractérisés, nous avons prié M. Barre de construire, tout en acier, un appareil de compression, au diamètre de la pièce de cinq francs, et cet appareil nous a fourni, soit à la presse, soit au balancier, une nouvelle série d'expériences avec les mêmes métaux que précédemment. Cet appareil nous a permis en outre de tenter la même expérience sur des plaques d'acier.

Cet essai n'est pas encore terminé complétement; mais déjà le mode de formation du jet est manifeste et l'on voit les surfaces de joint se modifier de la même façon qu'avec tous les autres métaux.

Cette série est surtout remarquable par l'identité absolue qu'on observe entre les résultats des écoulements produits avec des plaques des mêmes dimensions, mais de natures différentes.

DATES des EXPÉRIENCES.	NOMBRES des PLAQUES.	ÉPAISSEUR primitive DU BLOC.	LONGUEURS DES JETS produits.	MODE de COMPRESSION.
Expérience sur le plomb.				
		millimètres.	millimètres.	
17 octobre...	1	2.0	45.0	Presse.
5 novembre.	1	2.0	57.0	Presse.
6 novembre.	1	3.0	50.0	Presse.
5 novembre.	2	4.0	59.0	Presse.
17 octobre...	4	8.4	36.6	Presse.
Expérience sur l'étain.				
17 octobre...	2	8.0	33.90	Presse.
Expérience sur le cuivre.				
29 septembre.	4	8.3	34.90	Balancier.
Expérience sur l'argent.				
13 octobre...	4	8.2	35.10	Presse.
Expérience sur l'acier.				
28 octobre...	4	8.2	1[illegible].50	Balancier.

Tous ces jets ont été formés dans une même matrice de $0^m,013$

de diamètre. Les quatre premiers jets de plomb ont été réduits, vers la fin de l'écoulement, à une épaisseur de paroi telle que, tout en conservant la forme tubulaire, ils se sont plissés en donnant lieu à des cannelures parallèles à l'axe, puis plissés aussi dans un sens perpendiculaire, lorsque l'épaisseur du métal se rapprochait de celle d'une feuille de papier.

Le jet d'argent, comme celui de la série précédente, a été fait avec l'alliage au zinc. M. Péligot a bien voulu depuis lors nous faire préparer quatre flans d'argent pur : en les soumettant aux mêmes opérations, nous pourrons exprimer en chiffres la malléabilité relative de l'alliage par rapport à celle du métal dans son état de pureté.

Expériences sur les pâtes céramiques.

Toutes ces expériences ont été faites avec l'appareil de $0^m,100$ de diamètre, qui nous avait servi pour le plomb; mais au lieu d'employer la presse hydraulique, nous avons pu fréquemment déterminer l'écoulement en chargeant directement le piston avec des poids.

Ces expériences, très-multipliées, n'ont pas toujours réussi d'une manière complète; lorsque la matière n'avait pas assez de consistance, le jet s'étirait sous son propre poids; quelquefois aussi la matière se détachait en écailles lorsqu'elle n'était pas assez bien liée.

Les pâtes employées étaient de diverses sortes. Celle qui nous a donné les meilleurs résultats est la terre à briques, préparée à l'usine de M. Muller, à Ivry : elle est d'une homogénéité parfaite, se déforme peu à la dessiccation, et conserve alors une cohésion suffisante pour être coupée et rabotée sans difficulté.

La pâte fournie par la manufacture de Creil est plus fine et plus satisfaisante au moment de l'expérience; mais elle se pulvérise trop facilement après la dessiccation, et la conservation des échantillons est ainsi rendue très-difficile.

Les pâtes de porcelaine offrent les mêmes inconvénients, et elles sont en outre moins liantes et moins homogènes.

Le kaolin pur serait, au contraire, la meilleure de toutes les matières, sous le rapport de la liaison et de la finesse de la pâte; mais les jets obtenus se déforment si complétement par leur dessiccation qu'ils deviennent alors méconnaissables.

Malgré ces différences assez grandes dans les propriétés physiques des différentes pâtes céramiques soumises à notre procédé général d'expérimentation, les transformations des surfaces de joints, dans les jets, ont été tellement identiques, que nous nous sommes décidé à classer toutes ces expériences d'après la grandeur des orifices et d'après l'épaisseur des blocs, en nous bornant à indiquer la nature de la matière comme renseignement en quelque sorte secondaire.

Nous avons conservé les dessins de tous les échantillons; mais nous n'avons gardé les échantillons eux-mêmes que quand ils étaient réussis de tous points, après dessiccation et rabotage. Plusieurs jets de terre à briques ont été vernis, ou même cuits au four de porcelaine.

Deux échantillons, l'un de terre de Creil, l'autre de pâte de porcelaine, ont été coupés en rondelles, suivant des plans perpendiculaires à l'axe du jet; sous cette forme, la concentricité des couches apparaît de la manière la plus satisfaisante.

Les diamètres des jets ont varié de $0^m,020$ à $0^m,050$. Voici l'énumération des jets obtenus avec les matrices de ces différents diamètres :

Pâtes céramiques. — Jets de $0^m,020$.

DATES des EXPÉRIENCES.	NOMBRES des plaques.	ÉPAISSEUR primitive des blocs.	LONGUEUR finale des échantillons.	NATURE DE LA PATE.
		mill.	mill.	
9 juillet......	3	30.0	518.0	Terre à briques.
11 juillet.	4	40.0	608.0	Terre à briques.
14 juillet......	4	40.0	622.0	Creil.
15 juillet......	4	40.0	264.0	Creil.
16 juillet......	4	40.0	504.5	Porcelaine.
19 octobre. ...	6	60.0	271.0	Creil.

En général, les échantillons ont été très-beaux sous le rapport de la netteté avec laquelle les lignes de joint ont été dessinées par l'ocre rouge interposé entre les plaques; mais ils se sont tous rompus au collet, soit pendant le démoulage, soit pendant la dessiccation de la matière.

Les jets seuls ont, en conséquence, pu être conservés, sans les blocs d'où ils provenaient.

Pâtes céramiques. — Jets de 0m,030.

Les expériences de cette série, quoique plus nombreuses que celles de la série précédente, ont été moins variées. Nous avons voulu reproduire plusieurs fois les mêmes résultats dans des circonstances presque identiques, afin de bien nous assurer du degré de précision que les opérations de cette nature peuvent comporter.

DATES des EXPÉRIENCES.	NOMBRES des plaques.	ÉPAISSEURS primitives des blocs.	LONGUEURS totales après l'écoulement.	NATURE DE LA PATE.
		mill.	mill.	
4 août.......	2	20.0	200.0	Kaolin.
4 août.......	4	40.0	300.0	Kaolin.
17 septembre..	6	100.0	301.0	Terre à briques.
19 septembre..	6	100.0	296.0 (*)	Id.
20 septembre..	6	100.0	292.0 (*)	Id.
26 septembre..	6	100.0	298.5	Creil.
28 septembre..	6	100.0	289.0	Creil.
27 septembre..	6	100.0	287.5	Porcelaine.
29 septembre..	6	100.0	286.5	Porcelaine.
11 octobre....	6	100.0	298.0	Porcelaine.
19 octobre....	10	100.0	285.0	Creil.

Les deux jets marqués (*) sont ceux qui ont été soumis à la cuisson. Leurs longueurs totales n'ont été relevées qu'après cette opération faite.

Pâtes céramiques. — Jets de 0m,040.

Ces jets, de longueurs très-variées, n'ont pas toujours été obtenus sans déchirures; ceux qui appartiennent aux dates les plus anciennes sont les moins satisfaisants.

DATES des EXPÉRIENCES.	NOMBRES des plaques.	HAUTEURS primitives des blocs.	LONGUEURS totales après l'écoulement.	NATURE DE LA PATE.
		mill.	mill.	
20 septembre..	1	10.0	35.0	Terre à briques.
3 juillet......	2	12.0	?	Porcelaine.
6 juillet......	3	30.0	?	Argile de Decize.
19 octobre....	3	30.0	102.5	Creil.
4 juillet......	3	30.0	?	Porcelaine.
4 juillet......	5	35.0	?	Porcelaine.
15 juillet......	4	40.0	190.5	Porcelaine.
16 juillet......	4	40.0	212.0	Kaolin.
15 juillet......	4	40.0	229.0	Kaolin.
3 juillet......	6	56.0	?	Porcelaine.
7 juillet......	6	60.0	198.0	Terre à briques.
9 juillet......	6	60.0	257.0	Terre à briques.
12 juillet......	6	60.0	293.0	Creil.
31 juillet......	6	60.0	232.0	Creil.
1 août.......	6	60.0	372.0	Creil.
23 juillet......	6	60.0	?	Porcelaine.
31 juillet......	6	60.0	202.8	Porcelaine.
14 juillet......	8	80.0	388.0	Creil.
22 octobre....	8	80.0	244.6	Creil.
11 juillet......	11	110.0	636.0	Terre à briques.
2 juillet......	20	115.0	736.0	Terre à briques.
2 août.......	5	50.0	291.0	Porcelaine et kaolin.
23 juillet......	8	80.0	380.0	Porcelaine et kaolin.

Les deux dernières expériences sont seulement indiquées comme introduction à des essais ultérieurs. Dans celle du 23 juillet, les deux plaques de kaolin ont formé un fourreau très-régulier autour d'un jet intérieur en porcelaine, composé à la manière ordinaire par les six plaques supérieures; dans le bloc, au contraire, les glissements se sont produits, à la séparation des deux matières, dans des conditions un peu différentes de celles qu'auraient présentées des plaques de même nature.

Dans l'essai du 2 août, la plaque unique de kaolin, placée entre deux plaques de porcelaine, de chaque côté, s'est comportée comme dans les écoulements ordinaires.

Expériences sur les grès en poudre.

Pour reconnaître si les pressions se transmettent de la même façon dans les matières pulvérulentes, nous avons soumis au même mode d'expérimentation des grès en poudre, distribués dans un

cylindre compresseur par couches parallèles et différemment colorées. Le grès de Fontainebleau, tel qu'il est préparé pour saupoudrer l'écriture, de couleur rouge et de couleur bleue, nous a parfaitement réussi dès le premier essai, et nous avons immédiatement obtenu, avec une persistance véritablement étonnante, les mêmes couches concentriques qu'avec les métaux. Seulement, nous avons eu beaucoup de peine à conserver nos échantillons.

Afin d'éviter l'influence perturbatrice de la gravité, nos jets ont été formés de bas en haut; pour pouvoir les isoler du tube dans lequel ils se formaient (ces tubes étaient en bois), et pour fixer les uns aux autres tous les grains isolés, il nous a fallu imprégner toute la masse, soit avec du vernis ou de la gomme, soit, et c'est le procédé qui nous a réussi le mieux, avec de la cire fondue, après avoir amené les enveloppes à une température convenable.

Les grandes pressions à exercer ainsi sur des matières contenues dans des enveloppes qu'il était difficile de consolider ont nécessairement apporté quelques perturbations dans les phénomènes; mais on peut voir, par les échantillons obtenus, que le phénomène général est encore très-bien accusé, et que les grains de couleurs différentes ne se sont pas même mélangés pendant toute la durée de l'écoulement.

Quelques échantillons ont été obtenus en laissant couler le sable, sous son propre poids, dans un tube fermé par un piston que l'on descendait graduellement. Les petits éboulements qui se sont alors produits ont altéré les formes des lignes de séparation, et les parois des tubes successifs ne consistent plus qu'en traces à peine visibles sur quelques points; dans les extrémités des jets ainsi obtenus, les couches se retrouvent ordinairement avec leurs épaisseurs primitives.

Pour conserver autant que possible la forme des extrémités des jets et celle des cônes d'éboulement, nous avons recouvert quelquefois les surfaces avec une assez grande épaisseur de grès non coloré, qui nous facilitait le travail de consolidation par la cire fondue, sans nous laisser aucune crainte relative à la déformation des surfaces que nous voulions conserver exactement dans l'état sous lequel elles s'étaient produites.

Le nombre des expériences de ce genre n'est pas très-grand;

mais elles ont exigé beaucoup de préparatifs et beaucoup de temps.

DATES des EXPÉRIENCES.	NOMBRES des couches.	HAUTEUR totale du bloc.	DIAMÈTRE du bloc.	DIAMÈTRE du jet.	LONGUEUR du jet.
		mill.	mill.	mill.	mill.
Expériences par pression.					
8 juillet......	4	?	40.0	20.0	1er essai.
14 juillet......	5	?	60.0	20.0	20.0
15 juillet......	6	39.0	60.0	20.0	78.0
26 août.......	5	50.0	60.0	30.0	95.0
27 août.......	5	50.0	60.0	30.0	112.0
1er septembre..	5	50.0	60.0	30.0	135.0
Expériences par éboulement.					
2 septembre..	6	50.5	60.0	30.0	1er essai.
6 septembre..	5	50.0	60.0	30.0	100.0
7 septembre..	5	50.0	60.0	30.0	104.0
8 septembre..	5	50.0	60.0	30.0	121.0

Avec des appareils mieux appropriés, on pourrait sans doute obtenir, sous de plus grandes dimensions, des spécimens caractérisant, d'une manière très-frappante, les deux modes d'écoulement, par injection et par éboulement.

Expériences sur le plomb de chasse.

Les grains qui proviennent de la pulvérisation du grès n'ont pas, malgré les procédés de tamisage employés dans leur préparation, la régularité géométrique de certaines matières produites spécialement dans ce but. Il nous a semblé que des expériences sur le plomb de chasse pourraient présenter quelque intérêt, fût-ce même au seul point de vue des déformations individuelles de chacune des petites sphères que l'on forcerait, par une pression suffisante, à former un jet.

Nous nous sommes servi, pour ces expériences, de l'appareil employé déjà pour les grès, mais avec la précaution de doubler les surfaces de bois par des enveloppes intérieures de métal. Les couches ont été composées avec des plombs colorés en blanc ou en rouge par un procédé très-simple. Une plaque avait été enduite d'un vernis coloré, et les plombs étaient promenés

sur cette plaque, jusqu'à ce qu'ils se fussent chargés d'une quantité de couleur suffisante. Les jets ont été formés et préparés comme les jets de grès; la liaison a été produite avec de la cire fondue; mais ici cette opération ne présentait d'autre difficulté que celle de la non-dissolution de la matière colorante.

Les expériences faites sont les suivantes :

DATES des EXPÉRIENCES.	NOMBRES des couches.	HAUTEUR du bloc primitif.	DIAMÈTRE du bloc.	DIAMÈTRE du jet.	LONGUEUR du jet.
		mill.	mill.	mill.	mill.
9 août.......	5	40.0	60.0	30.0	45.0
20 août.......	6	49.8	60.0	30.0	56.0
3 septembre..	4	50.0	60.0	30.0	80.0
29 septembre..	4	50.0	60.0	30.0	85.0

Les différentes couches ont encore pris dans le jet une disposition concentrique très-nettement indiquée, et les déformations des grains dans le bloc présentent des particularités intéressantes. Sur la face supérieure, les grains de plomb se trouvent aplatis, mais d'une manière très-inégale. Au centre de cette face, l'aplatissement est presque nul, ce qui montre, sous une autre forme, que la pression n'est jamais grande dans le prolongement du jet, comme nous l'avions déjà remarqué par la considération des cavités observées dans les expériences sur les plaques de métal. Sur les bords, au contraire, l'aplatissement est beaucoup plus grand, et, dans les bavures qui se sont produites autour du piston, les grains, disposés encore en couches concentriques, se trouvent laminés en petits écailles elliptiques, très-amplifiées dans le sens de l'écoulement. Les grains se sont d'ailleurs moulés les uns sur les autres dans toute l'épaisseur du bloc, en se déformant. Dans le jet, au contraire, ils ont presque partout conservé la forme sphérique primitive.

Expériences sur les liquides.

Lorsque le fait de l'écoulement concentrique et celui de la formation des jets creux nous parurent bien établis, nous pensâmes qu'il serait utile de rechercher si l'écoulement des liquides eux-mêmes ne s'effectuait pas dans les mêmes conditions. A cet

effet, nous avons versé dans un vase de verre parfaitement cylindrique, et de $0^m,115$ de diamètre intérieur, de l'eau et de l'huile très-colorée par son séjour dans des boîtes en cuivre; l'eau occupait dans le vase une hauteur de $0^m,15$, l'huile une hauteur de $0^m,10$. Cette huile surnageait, et, en ouvrant dans le fond du vase un orifice circulaire de $0^m,02$ de diamètre, le liquide s'est écoulé de manière à laisser voir, par transparence, la modification de la surface de séparation. D'abord plane, cette surface a bientôt présenté une saillie de plus en plus marquée, et qui s'est prolongée, au bout de quelques instants, jusqu'à l'orifice. Le jet était alors composé d'un filet d'huile au centre, entouré d'une nappe d'eau concentrique. Enfin, lorsque le niveau du liquide a été suffisamment abaissé, le jet est devenu creux, en laissant voir toujours cette superposition des deux liquides jusqu'à complet épuisement.

Répétée un grand nombre de fois, cette expérience a toujours donné les mêmes résultats; elle a été moins satisfaisante en remplaçant l'huile précédente par une dissolution d'huile de houille dans le sulfure de carbone, préparée de manière à lui conserver, par rapport à l'eau, qui surnageait alors, un petit excès de densité.

Les différences de transparence étaient moins tranchées, et l'eau retenait toujours en suspension une petite quantité d'hydro-carbure. C'est pour cette cause que les jaugeages faits par fractionnement du jet n'offrent pas tout l'intérêt que nous trouverions dans l'écoulement de deux matières fondues, pouvant former un jet solidifiable.

Nous chercherons à reprendre, dans de nouvelles conditions, l'étude de cette question importante, et nous n'en parlons ici que pour faire ressortir une analogie de plus entre les solides et les liquides.

RÉSULTATS GÉNÉRAUX DES EXPÉRIENCES.

Nous nous sommes abstenu de décrire chacun des échantillons en particulier; mais en les examinant dans leur ensemble, on peut déjà formuler quelques conséquences générales que nous allons maintenant exposer.

1° Dans tous les échantillons sans exception, les faces planes

des plaques primitives se sont modifiées au centre, de manière à former des surfaces de révolution qui vont en se rétrécissant vers le bas, et qui deviennent presque cylindriques dans le jet; elles y descendent à une distance plus ou moins grande et constituent ainsi une suite de tubes concentriques, se terminant par une calotte qui tourne sa convexité vers l'extrémité de ce jet.

2° Ces tubes sont parfaitement continus; ils s'emboîtent exactement les uns dans les autres, de manière que chaque ligne de joint se trouve représentée, dans les coupes faites suivant l'axe, par un trait d'une grande finesse et généralement très-régulier.

3° Ces lignes de joint font voir que toutes les molécules qui composaient le bloc primitif viennent individuellement et successivement se placer dans le jet.

4° Ces mêmes transformations de surfaces ont été vues dans l'écoulement de deux liquides superposés obéissant à l'action de la gravité. Ces observations, qu'il sera nécessaire de compléter par d'autres, pourront jeter un jour nouveau sur les lois de l'écoulement des liquides.

5° Les épaisseurs des calottes qui terminent les plaques dans le jet à partir de son extrémité sont telles que les distances des différentes lignes de joint à l'extrémité, lorsqu'on les mesure suivant l'axe, augmentent dans une progression plus rapide que le nombre des plaques.

Pour les premières plaques, la différence d'épaisseur est toujours très-faible.

6° Dans les parties où l'un des tubes a pris à peu près la forme cylindrique à l'intérieur et à l'extérieur, l'épaisseur de ce tube est telle que sa section diffère très-peu de celle qui représenterait la section totale du jet, divisée par le nombre des plaques.

Un grand nombre de mesures prises sur les coupes, particulièrement dans les jets en pâte céramique, satisfont avec une étonnante exactitude à cette observation.

7° Au reste, ces mesures sont beaucoup moins certaines, quelque soin qu'on prenne à les relever, que celles des distances des différentes lignes de joint à l'extrémité, et c'est parce que ces distances constituent la partie la plus tangible du phénomène que nous les avons prises pour points de comparaison avec le

résultat du calcul par lequel nous avons cherché à en rendre compte.

8° On remarque souvent dans l'axe du jet, et particulièrement vers son extrémité, des vides formés entre les plaques. Ces vides sont accidentels et doivent être attribués au défaut d'adhérence des plaques entre elles.

Ils ne se présenteraient jamais dans une masse homogène continue, et il est bon de remarquer dès à présent que quand ils se sont formés à la naissance du jet, ces vides ne se referment plus après sa sortie.

9° Lorsque, par suite de la formation même du jet, l'épaisseur du bloc est descendue au-dessous d'une certaine limite que nous apprendrons plus tard à connaître, le jet devient creux, et il se contracte de manière à présenter, sous ce double rapport, les phénomènes constatés dans l'écoulement des liquides lorsque la hauteur de chute devient petite par rapport aux dimensions de l'orifice.

10° La contraction augmente notablement à mesure que la hauteur du bloc diminue.

11° Quand la hauteur du bloc diminue encore, le métal qui s'écoule se plisse dans tous les sens, et le défaut de résistance, résultant de la petite épaisseur à laquelle il est amené, ne permet plus de faire d'observations précises sur la forme du jet; mais, dans ce cas encore, les élongations produites offrent l'aspect des cannelures longitudinales qu'on rencontre dans certaines veines fluides.

12° La forme intérieure de la paroi des jets creux, lorsqu'elle est encore régulière, est extrêmement remarquable en ce qu'elle montre parfaitement le mode de formation d'une veine par l'expulsion de la matière comprise tout autour de l'orifice, et la résistance que cette matière oppose, par suite de sa cohésion et de sa symétrie, à toute déformation qui ne serait pas symétrique par rapport à son axe de figure.

13° Les vides formés dans les jets, dans les conditions qui viennent d'être indiquées, donnent l'explication des phénomènes de succion depuis longtemps signalés dans l'écoulement des liquides.

Ces diverses remarques faites à simple vue se trouveront corroborées ultérieurement par des considérations théoriques;

mais il nous a paru nécessaire de faire ressortir tout d'abord, et comme un fait purement physique, l'étroite analogie qui existe entre les solides et les liquides au point de vue qui nous occupe. Si nous avons autant multiplié les échantillons, c'est uniquement afin de faire admettre plus facilement une expression qui pourrait sembler paradoxale, si elle n'était la véritable et la seule traduction que l'on pût légitimement faire des effets produits.

Cette expression n'est d'ailleurs pas indifférente; nous voyons déjà des applications dans lesquelles la seule possibilité d'un écoulement permettra d'indiquer *à priori* les effets qui devront se produire. L'assimilation que nous provoquons sera, sous ce rapport, fort utile.

THÉORIE GÉOMÉTRIQUE DE L'ÉCOULEMENT DES CORPS SOLIDES.

Nous avons eu quelque peine à nous rendre compte des lois suivant lesquelles les différentes couches se transforment de manière à s'introduire successivement dans le jet; mais la vérification que nous avons indiquée déjà de la conservation de la densité primitive, dans les débouchures provenant du poinçonnage, ne pouvait nous laisser aucun doute sur la constance du volume total du métal engagé dans chacune de nos expériences.

N'eût-elle pas été d'une exactitude absolue, cette constance de volume nous paraissait d'ailleurs être l'hypothèse la plus simple parmi toutes celles au moyen desquelles nous pouvions espérer que les déformations observées donneraient lieu à quelques vérifications géométriques.

En admettant l'invariabilité du volume total, il devenait beaucoup plus facile d'introduire le calcul dans l'étude de la transformation des surfaces, et, après ce principe posé, nous avons été conduit à considérer séparément les modifications qui devaient nécessairement se produire dans les différentes parties du bloc primitif. A cet effet nous avons désigné sous le nom de cylindre central le volume limité par la surface cylindrique que l'on peut concevoir dans le bloc, en menant des droites, par tous les points de l'orifice, parallèlement à l'axe du cylindre formé par le bloc lui-même, et nous avons examiné séparément les modifications

qui devaient se produire à l'extérieur et à l'intérieur de ce cylindre central.

A l'extérieur la matière est évidemment soumise, dans toute l'épaisseur du bloc, à une pression transmise par le piston à la surface supérieure de ce bloc, qui diminue constamment de hauteur sans changer de volume.

On ne peut concevoir cette modification qu'en admettant un mouvement général des molécules vers l'axe; ce mouvement doit être symétrique par rapport à cet axe, et si les pressions sont également transmises sur tous les points de contact, sur la base du piston et sur la surface qui forme le fond du cylindre, il était naturel de supposer que chacun des anneaux cylindriques que l'on pourrait concevoir dans le bloc, parallèlement et concentriquement au cylindre central, devait se modifier de manière que la surface de sa base augmentât en raison inverse de la hauteur.

Cette transformation de chaque anneau cylindrique en un autre anneau plus court et de noyau moindre a été l'une des bases de notre calcul, et, à supposer qu'elle ne soit pas absolument la traduction des faits, il faut tout d'abord reconnaître qu'elle satisfait complétement l'esprit, et qu'elle se présente par conséquent avec un grand caractère de probabilité.

En admettant qu'il en soit ainsi, il n'est pas plus difficile de comprendre ce qui doit se passer entre les diverses parties du cylindre central primitif. Entourée dans toute sa hauteur par la pression qui s'exerce tout autour d'elle, la matière qui constitue ce cylindre doit se comprimer de manière que le diamètre intérieur diminue, et de manière, par conséquent, qu'une partie de la longueur ou de la hauteur primitive soit expulsée au dehors par l'orifice librement ouvert à cette expulsion.

On comprend même qu'au fur et à mesure de cette expulsion, les diverses parties du cylindre primitif échapperont à toute compression, et qu'ainsi les dimensions latérales seront d'autant moins modifiées que l'expulsion aura été plus tôt produite.

Ce simple aperçu fait voir que le cylindre central primitif sera nécessairement représenté, dans le jet, par un solide de forme particulière, qui sera symétrique par rapport à l'axe, si les actions ont été transmises tout autour du cylindre central de la même façon, et tel que les sections circulaires faites perpen-

diculairement à cet axe, seront d'autant plus petites que la matière qui le compose aura été pendant plus longtemps soumise à la pression exercée sur elle par suite de l'écrasement de la partie extérieure.

S'il en est ainsi pour le cylindre primitif, on voit également qu'il en sera de même pour chacun des cylindres qui viendront se substituer à lui pendant les transformations successives; et cette première vue du phénomène montre déjà comment on peut géométriquement se rendre compte des chemins suivis, au dedans et au dehors du cylindre central, par toutes les molécules qui constituaient le bloc primitif.

Il a suffi de faire une hypothèse; il a suffi d'admettre que tous les anneaux que l'on pourrait concevoir à l'intérieur du cylindre central conservent toujours entre leurs sections horizontales, et pendant qu'ils sont, ensemble, soumis à la même pression, un rapport constant, pour que tous les déplacements moléculaires puissent être étudiés et soumis au calcul. Nous allons voir comment nos hypothèses peuvent être exprimées par des formules; comment aussi la théorie, basée sur l'expulsion du cylindre central, pourra rendre compte approximativement de tous les faits observés.

Notations.

Nous désignerons généralement par R le rayon du cylindre formé par le bloc, et par H la hauteur primitive de ce cylindre. h sera la hauteur variable de ce même cylindre pendant l'écoulement, et l la longueur du jet correspondant.

Ce jet est toujours cylindrique; son rayon R_1 est le rayon même de l'orifice, et si nous voulons écrire que le volume est resté le même quand H est devenu h, nous aurons immédiatement la relation

$$\pi R^2 H = \pi R^2 h + \pi R_1^2 l,$$

ou plus simplement $$R^2(H-h) = R_1^2 l.$$

Nous aurons souvent à invoquer cette première relation.

Lorsque nous voudrons considérer une tranche intermédiaire, parallèle aux deux bases du bloc, nous désignerons sa distance primitive à la base supérieure par A, et par a sa distance va-

riable par rapport à cette même base, quand la hauteur sera réduite à h.

Les hypothèses que nous avons faites comportant qu'à l'intérieur du cylindre primitif la diminution de hauteur se produit proportionnellement sur toute la masse, on aura toujours

$$\frac{A}{H} = \frac{a}{h};$$

mais cette relation ne saurait être appliquée à l'intérieur du cylindre central, soit dans le bloc, soit dans le jet.

Nous avons représenté par les quatre figures ci-jointes (*auxquelles le lecteur suppléera facilement*), avec les notations adoptées dans tous nos calculs, les diverses déformations que nous aurons à étudier. A et B étant, par rapport à la base supérieure du bloc et à l'axe de figure, les coordonnées primitives d'un point M, situé dans le bloc, à l'extérieur du cylindre central primitif, nous conservons à ce point les coordonnées nouvelles a et b, dans toutes les positions qu'il peut occuper successivement.

Nous ne changeons cette notation générale que quand le point M vient se placer sur la surface du cylindre central, auquel cas les coordonnées deviennent a_1 et B_1, la hauteur du bloc et la longueur du jet étant alors représentées par les mêmes lettres h_1 et l_1 affectées du même indice.

Lorsque nous chercherons les équations de la transformée de la verticale du point M dans le jet, nous emploierons les coordonnées x et y, mesurées respectivement par rapport à l'axe et à l'extrémité du jet.

Nous réserverons les coordonnées X et Y pour l'équation de la transformée du rayon qui passe par le point M, lorsque ce point arrive dans l'intérieur du cylindre central, comme nous l'avons indiqué figure 4. Dans ce cas, les abscisses seront encore prises à partir de l'axe, mais les ordonnées seront estimées par rapport à la position variable de la face supérieure du bloc.

Pour soumettre au calcul ces différentes transformations, il nous a paru nécessaire d'établir d'abord les formules qui ressortent immédiatement des hypothèses faites. En adoptant cet ordre, il nous suffira de rappeler les formules ainsi établies une fois pour toutes, à chaque circonstance dans laquelle nous aurons besoin de les invoquer.

Formules qui expriment les hypothèses faites.

La constance du volume se formulera d'une manière différente, suivant que nous aurons à l'appliquer à telle ou telle partie du solide considéré.

1° Si nous voulons exprimer que le volume du jet $\pi R_1^2 l$ est toujours égal à la diminution du volume du bloc, nous aurons immédiatement, en divisant par π l'expression de chaque volume,

$$R^2(H-h) = R_1^2 l. \tag{1}$$

2° Si nous avons à écrire que la partie du bloc extérieure au cylindre de rayon B, quand la hauteur est H, vient occuper toute la partie extérieure au cylindre central quand le point M vient se placer sur ce cylindre, nous aurons immédiatement

$$(R^2-B^2)H = (R^2-R_1^2)h_1. \tag{2}$$

3° Enfin, si nous avons à indiquer que la matière extérieure au cylindre central, lorsque le bloc a une hauteur h, détermine, par la compression à laquelle elle est soumise, une variation élémentaire dR_1 du rayon intérieur, correspondant à une variation dh dans la hauteur, nous transformerons l'équation immédiate

$$(R^2-R_1^2)h = [R^2-(R_1+dR_1)^2](h+dh)$$

sous la forme

$$0 = (R^2-R_1^2)dh - 2R_1 dR_1 \times h,$$

d'où l'on tire

$$\frac{dh}{h} = \frac{2R_1 dR_1}{R^2-R_1^2}. \tag{3}$$

Deux autres relations nous sont encore nécessaires :

En désignant, pour un instant, par r, le rayon d'une couche concentrique, à l'intérieur du cylindre central, si R_1 devient R_1+dR_1, r deviendra $r+dr$, et nous devons exprimer que les deux sections circulaires se trouvent ainsi modifiées dans le même rapport, ce qui donne

$$\frac{\pi(R_1+dR_1)^2}{\pi R_1^2} = \frac{\pi(r+dr)^2}{\pi r^2};$$

d'où, en effectuant les calculs,

$$\frac{2R_1 dR_1}{R_1^2} = \frac{2rdr}{r^2},$$

ou plus simplement,

$$\frac{dR_1}{R_1} = \frac{dr}{r}. \qquad (4)$$

Les transformations au dedans du cylindre central peuvent encore s'exprimer sous une autre forme, si l'on se borne à considérer les modifications d'une partie de ce cylindre central comprise entre la face supérieure du bloc et une distance a_1 de cette face, car ce volume primitivement cylindrique et primitivement mesuré par $\pi a_1 R_1^2$ va rester constamment cylindrique dans le bloc et sera toujours représenté par le produit πYX^2, qui est équivalent au premier.

L'équation qui en résulte,

$$YX^2 = a_1 R_1^2, \qquad (5)$$

est la dernière de celles que nous poserons *a priori*; toutes les autres seront déduites par le calcul de ces équations primitives qui représentent ainsi l'ensemble des hypothèses que nous avions précédemment indiquées.

Observation sur la symétrie des transformations.

Dans les phénomènes que nous nous proposons d'étudier, tout est symétrique par rapport à la ligne qui est à la fois l'axe du cylindre formé par le bloc et l'axe du cylindre formé par le jet.

Il résulte *a priori* de cette disposition que toutes les actions et déformations seront symétriques par rapport à cet axe, et il ressort immédiatement de cette observation, qu'au lieu d'étudier ce qui se passerait pour toutes les génératrices d'un cylindre concentrique à l'axe, il suffira d'examiner comment se transformera une seule des génératrices de ce cylindre, celle qui passe par le point M, par exemple.

Pour la même raison de symétrie, les déformations de la section horizontale qui passerait par ce même point M seront

parfaitement caractérisées si l'on détermine les déformations du rayon qui passe sur ce point.

Chacune des déformations se trouve ainsi ramenée à une question de géométrie plane dont l'énoncé pourra être plus simplement formulé.

Nous nous occuperons d'abord de la déformation d'une des génératrices du cylindre central, puis de la génératrice du point M, dans le bloc et dans le jet; enfin de la transformée du rayon qui passe par le même point M, également dans le bloc et dans le jet.

Transformée d'une génératrice du cylindre central primitif.

Les trois équations dont nous nous servirons sont celles que nous avons désignées sous les numéros (1) (3) (4).

La première, différenciée par rapport à h et à l, donne successivement

$$R^2 h = R^2 H - R_1^2 l$$

$$R^2 dh = - R_1^2 dl,$$

et en divisant membre à membre,

$$\frac{dh}{h} = \frac{dl}{l - \frac{R^2}{R_1^2} H},$$

l'équation (3) est

$$\frac{dh}{h} = \frac{2R_1 dR_1}{R^2 - R_1^2},$$

ou, en remplaçant dR_1 par sa valeur en dr tirée de l'équation (4)

$$\frac{dh}{h} = \frac{2R_1^2}{R^2 - R_1^2} \frac{dr}{r} = \frac{dl}{l - \frac{R^2}{R_1^2} H}$$

Cette relation en r et l donne immédiatement par intégration

$$\frac{2R_1^2}{R^2 - R_1^2} \log \text{hyp}\, r = \log \text{hyp} \left(l - \frac{R^2}{R_1^2} H \right) + C.$$

Puisque nous voulons appliquer cette relation à une génératrice du cylindre central primitif, pour laquelle on avait simultanément $r = R_1$, $l = 0$, on aura pour déterminer la constante C,

$$\frac{2R_1^2}{R^2-R_1^2}\log R_1 = \log\left(-\frac{R^2}{R_1^2}H\right) + C,$$

et par suite

$$\frac{2R_1^2}{R^2-R_1^2}\log\frac{r}{R_1} = \log\frac{l-\frac{R^2}{R_1^2}H}{-\frac{R^2}{R_1^2}H}.$$

Nous mettrons cette relation sous la forme exponentielle, en remarquant que r et l ne sont autre chose que les coordonnées x et y, telles que nous les avons définies, ce qui conduit, pour l'équation de notre transformée, à

$$\frac{y-\frac{R^2}{R_1^2}H}{\frac{-R^2H}{R_1^2}} = \left(\frac{x}{R_1}\right)^{\frac{2R_1^2}{R^2-R_1^2}},$$

ou $$y = \frac{R^2H}{R_1^2}\left[1-\left(\frac{x}{R_1}\right)^{\frac{2R_1^2}{R^2-R_1^2}}\right]. \qquad (6)$$

On voit immédiatement que l'abscisse x ne deviendra nulle que pour $y=\frac{R^2}{R_1^2}H$, c'est-à-dire quand le bloc sera entièrement épuisé, et quand toute la matière qui le composait primitivement aura été dépensée à former le jet.

La valeur de x allant d'ailleurs en diminuant, à mesure que y augmente, depuis $x=R_1$, qui correspond à $y=0$, jusqu'à $x=0$ pour l'épuisement complet du bloc, on reconnaît que nos premières observations se trouvent ainsi précisées par le calcul.

Nous verrons ultérieurement comment l'équation (6) a pu être comparée avec le résultat d'une expérience que nous avons spécialement faite dans la vue de cette vérification.

Si nous avions voulu nous borner à reconnaître la modification de la génératrice primitive dans le bloc, il aurait suffi de nous arrêter à la relation

$$\frac{dh}{h} = \frac{2R_1^2}{R^2-R_1^2}\frac{dr}{r} \qquad \text{(page 43)}$$

qui donne immédiatement, et par les mêmes moyens,

$$\frac{h}{H} = \left(\frac{r}{R_1}\right)^{\frac{2R_1^2}{R^2 - R_1^2}},$$

et

$$r = R_1 \left(\frac{h}{H}\right)^{\frac{R^2 - R_1^2}{2R_1^2}}. \qquad (7)$$

La génératrice primitive s'est simplement rapprochée de l'axe à la distance r, et le cylindre central primitif forme, dans le bloc, une surface de révolution, à méridien rectiligne, parallèle au méridien primitif du cylindre, c'est-à-dire un cylindre concentrique.

Distances des couches dans le jet.

Comme corollaire de la question précédente, il est facile de déterminer la distance α de l'extrémité du jet total à l'extrémité du jet intérieur formé par une couche qui se trouvait originairement à la distance A de la face supérieure.

Le volume primitif de la partie du cylindre central, située audessous de cette couche, était mesuré par πR_1^2 (H—A), et ce volume s'est transformé en celui du solide de révolution dont nous venons de déterminer le méridien; la distance α sera donc telle que la partie inférieure du nouveau solide, comprise entre le fond du jet et le plan situé à une distance α, soit égale à celle que nous avons écrite ci-dessus; on aura donc

$$\int_{y=0}^{y=\alpha} \pi x^2 dy = \pi R_1^2 (H-A).$$

Nous tirerons de l'équation de la transformée (6) la valeur de x en fonction de y; nous substituerons cette valeur de x dans l'équation précédente, et nous déterminerons la valeur de la limite α qui satisfera à cette égalité, en supprimant tout d'abord le facteur π, qui est commun aux deux membres.

L'équation (6) donne

$$\left(\frac{x}{R_1}\right)^{\frac{2R_1^2}{R^2-R_1^2}} = \frac{R_1^2 y - R^2 H}{-R^2 H},$$

ou

$$x = R_1 \left(\frac{R^2H - R_1^2 y}{R^2H}\right)^{\frac{R^2 - R^2_1}{2R^2_1}},$$

et par suite on trouve

$$\int r^2 dy = - R^2_1 H \left(\frac{R^2H - R^2_1 y}{R^2 H}\right)^{\frac{R^2}{R^2_1}} + C.$$

En faisant successivement $y = \alpha$ et $y = 0$, et en retranchant la seconde valeur de la première, il vient enfin

$$R^2_1 H - R^2_1 H \left(1 - \frac{R^2_1 \alpha}{R^2 H}\right)^{\frac{R^2}{R^2_1}} = R^2_1 (H - A),$$

d'où l'on tire

$$1 - \frac{R^2_1 \alpha}{R^2 H} = \left(\frac{A}{H}\right)^{\frac{R^2_1}{R^2}},$$

et

$$\alpha = \frac{R^2 H}{R^2_1}\left[1 - \left(\frac{A}{H}\right)^{\frac{R^2_1}{R^2}}\right] \qquad (8)$$

Pour appliquer cette formule au cas de nos blocs cylindriques, composés de N plaques égales, nous désignerons par n le nombre des plaques qui forment la hauteur A, et nous aurons ainsi

$$\frac{n}{N} = \frac{A}{H},$$

d'où, en substituant,

$$\alpha = \frac{R^2 H}{R^2_1}\left[1 - \left(\frac{n}{N}\right)^{\frac{R^2_1}{R^2}}\right] \qquad (8\mathit{bis})$$

C'est cette expression qui nous a servi à calculer, pour tous les jets, les distances des lignes de joints successives à l'extrémité. Nous avons dans chaque cas comparé la courbe ayant pour abscisses les différentes valeurs de n, et pour ordonnées les valeurs correspondantes de α, à la courbe tracée avec les mêmes éléments mesurés sur les échantillons eux-mêmes. Nous verrons que l'accord entre ces deux courbes est très-satisfaisant dans un grand nombre de circonstances, et nous pourrons, dans le cas de désaccord, rechercher les causes qui le déterminent.

Rayon de la face inférieure de chaque jet.

La valeur de ce rayon sera déterminée par celle de x (équation 6), correspondant à la valeur précédente de $y = \alpha$.

En la désignant par x' et posant cette équation, on trouve

$$\alpha = \frac{R^2 H}{R_1^2}\left[1 - \left(\frac{A}{H}\right)^{\frac{R_1^2}{R^2}}\right] = \frac{R^2 H}{R_1^2}\left[1 - \left(\frac{x'}{R_1}\right)^{\frac{2R_1^2}{R^2 - R_1^2}}\right]$$

on en tire immédiatement

$$\left(\frac{A}{H}\right)^{\frac{R_1^2}{R^2}} = \left(\frac{x'}{R_1}\right)^{\frac{2R_1^2}{R^2 - R_1^2}},$$

et par suite

$$x' = R_1 \left(\frac{A}{H}\right)^{\frac{R^2 - R_1^2}{2R^2}}. \tag{9}$$

On remarque déjà que si R_1 était très-petit par rapport à R, et si l'on pouvait négliger sa valeur dans l'indice de la puissance, on aurait simplement

$$x' = R_1 \left(\frac{A}{H}\right)^{\frac{1}{2}},$$

ou plus simplement

$$\frac{x'^2}{R_1^2} = \frac{A}{H} = \frac{n}{N},$$

ce qui revient à dire que la section d'un jet quelconque se mesurerait en multipliant la section du jet total par le rapport du nombre des plaques comprises dans le jet au nombre total des plaques.

Transformée d'une génératrice quelconque.

Nous ne nous sommes occupé jusqu'alors que de la déformation d'une génératrice du cylindre central primitif, mais le calcul que nous avons fait peut nous servir à trouver de suite la transformée d'une génératrice, caractérisée par sa distance B à l'axe. Nous chercherons l'équation de cette transformée, dans le bloc et dans le jet, en supposant successivement que la distance primitive était plus grande ou plus petite que R_1, c'est-à-dire que la génératrice que nous considérons était primitivement en dehors ou en dedans du cylindre central primitif.

La génératrice B vient, par le fait de l'écoulement, se confondre avec la génératrice du cylindre central quand la hauteur du bloc se trouve réduite à h_1.

En substituant cette valeur de h_1 à H dans l'équation (7), on aura toujours dans l'intérieur du bloc

$$r = R_1\left(\frac{h}{h_1}\right)^{\frac{R^2-R^2_1}{2R^2_1}},$$

et il suffira d'exprimer h_1 en fonction de B et de H pour que cette valeur de r convienne au cas actuel. Or, en vertu du principe de la constance du volume appliqué à l'anneau extérieur, la couche de rayon B se transformant en une couche de rayon R_1, on doit avoir

$$(R^2 - B^2)\,H = (R^2 - R^2_1)h_1,$$

d'où

$$h_1 = \frac{(R^2 - B^2)H}{R^2 - R^2_1},$$

et par suite

$$r = R_1\left(\frac{h}{H} \times \frac{R^2 - R^2_1}{R^2 - B^2}\right)^{\frac{R^2-R^2_1}{2R^2_1}}.$$

Le même mode de substitution est applicable à la recherche de l'équation dans le jet. En effet, nous pouvons écrire l'équation (6) sous la forme

$$y' = \frac{R^2}{R^2_1}\,h_1\left[1 - \left(\frac{x}{R_1}\right)^{\frac{2R^2_1}{R^2 - R^2_1}}\right],$$

en désignant par y' l'ordonnée de la courbe, mesurée à partir de la couche horizontale à laquelle cette courbe prend naissance.

L'ordonnée rapportée à l'extrémité du jet sera y, et l'on aura

$$(y - y')\,R^2_1 = (H - h_1)\,R^2,$$

et par suite

$$y = y' + \frac{R^2}{R^2_1}\,(H - h_1) = \frac{R^2}{R^2_1}\left[H + h_1\left\{1 - \left(\frac{x}{R_1}\right)^{\frac{2R^2_1}{R^2-R^2_1}} - 1\right\}\right]$$

$$= \frac{R^2}{R^2_1}\left[H - h_1\left(\frac{x}{R_1}\right)^{\frac{2R^2_1}{R^2-R^2_1}}\right].$$

En mettant maintenant, à la place de h_1, sa valeur en B et en H trouvée précédemment, il vient

$$y = \frac{R^2}{R_1^2} H \left[1 - \frac{R^2 - B^2}{R^2 - R_1^2} \left(\frac{x}{R_1}\right)^{\frac{2R_1^2}{R^2 - R_1^2}}\right]. \tag{10}$$

On voit ainsi que toutes les transformées des génératrices primitives, extérieures au cylindre central, affectent, dans le jet, une forme analogue, leurs équations ne différant les unes des autres que par le seul paramètre variable

$$\frac{R^2 - B^2}{R^2 - R_1^2}.$$

Toutes ces courbes rencontrent d'ailleurs l'axe en un même point, pour lequel on a toujours $y = \frac{R^2}{R_1^2} H$.

Pour les points situés primitivement à l'intérieur du cylindre central, à une distance B′ de l'axe, il suffit de dire que les valeurs de y resteront les mêmes que pour les points du cylindre primitif, qui étaient placés à la même hauteur. En désignant par x' et par r', suivant les cas, l'abscisse correspondante, il faudra remplacer x par sa valeur tirée de la proportionnalité des surfaces

$$\frac{x^2}{R_1^2} = \frac{x'^2}{B'^2},$$

c'est-à-dire remplacer chaque valeur de x par $x = \frac{R_1}{B'} x'$, ce qui donnera pour le rayon dans le bloc

$$r' = \frac{B'}{R_1} r = B' \left(\frac{h}{H}\right)^{\frac{R^2 - R_1^2}{2R_1^2}}, \tag{11}$$

et pour l'équation de la courbe dans le jet

$$y = \frac{R^2}{R_1^2} H \left[1 - \left(\frac{x'}{B'}\right)^{\frac{2R_1^2}{R^2 - R_1^2}}\right]. \tag{12}$$

Transformée d'une couche horizontale.

Nous avons encore à déterminer l'équation de la transformée d'un rayon primitif du bloc, ce rayon étant caractérisé par la

distance A à la face supérieure de ce bloc. Soit h_1 la hauteur à laquelle le bloc sera réduit lorsqu'un point de ce rayon rencontrera la surface du cylindre central, en désignant à ce moment par a_1 la hauteur réduite de la tranche A, on aura

$$\frac{a_1}{A} = \frac{h_1}{H}, \text{ d'où } a_1 = A\frac{h_1}{H},$$

et par suite l'équation (5) devient

$$R_1^2 A \frac{h_1}{H} = YX^2.$$

et il suffira de remplacer h_1 par sa valeur h pour obtenir immédiatement l'équation de la courbe.

Or, l'équation (7) donne en remplaçant H par h_1 et r par X,

$$\frac{h}{h_1} = \left(\frac{X}{R_1}\right)^{\frac{2R_1^2}{R^2 - R_1^2}}.$$

En multipliant membre à membre et divisant par R_1^2, on trouve de suite :

$$A\frac{h}{H} = Y\left(\frac{X}{R_1}\right)^{2+\frac{2R_1^2}{R^2-R_1^2}} = Y\left(\frac{X}{R_1}\right)^{\frac{2R^2}{R^2-R_1^2}}. \quad (13)$$

Cette équation est de la même forme que les précédentes, et si l'on y fait $Y = h$, elle se réduit à

$$X = R_1\left(\frac{A}{H}\right)^{\frac{R^2-R_1^2}{2R^2}}.$$

Cette valeur de X, dans le plan inférieur du bloc, étant indépendante de h, on voit que la couche A se transformera toujours de manière à être coupée par ce plan suivant un cercle de rayon constant, ou, en d'autres termes, qu'elle sera représentée dans le jet par un cylindre de révolution de rayon X. Nous avions déjà trouvé cette expression (page 47) pour le rayon de la face inférieure du jet de la couche A.

Il aurait été, d'ailleurs, très-facile de trouver, par intégration directe, l'équation en X et Y de la transformée d'un rayon primitif.

Il nous est maintenant facile de trouver, soit dans le bloc,

soit dans le jet, les cordonnées du point M quand la hauteur du bloc est réduite de H à h.

Coordonnées des positions successives d'un même point.

A et B étant les coordonnées primitives du point M, que nous supposerons placé à l'extérieur du cylindre central, nous trouverons sa position finale en combinant entre elles les équations de la transformée de la génératrice du point M, et du rayon qui passe par ce même point.

1° Ce point est amené à la surface du cylindre central

$$b_1 = R_1; \quad a_1 = \frac{A}{H} h_1 = A \frac{R^2 - B^2}{R^2 - R_1^2}; \qquad (14)$$

2° Le point M est amené dans le bloc à l'intérieur du cylindre central

$$b = R_1 \left(\frac{h}{H} \times \frac{R^2 - R^2_1}{R^2 - B^2}\right)^{\frac{R^2 - R_1^2}{2\,R_1^2}}. \qquad (15)$$

On obtiendra la valeur de Y correspondante en substituant cette valeur de b à la place de X dans l'équation (13), ce qui donne, après réduction

$$\text{Y ou } a = A \left(\frac{H}{h}\right)^{\frac{R^2 - R_1^2}{R_1^2}} \cdot \left(\frac{R^2 - B^2}{R^2 - R_1^2}\right)^{\frac{R^2}{R_1^2}}; \qquad (16)$$

3° Le point M est amené dans le plan inférieur du bloc

$$\text{Y ou } a = h; \quad b = R_1 \left(\frac{A}{H}\right)^{\frac{R^2 - R_1^2}{2\,R^2}}; \qquad (17)$$

4° Le point M est dans l'intérieur du jet; les ordonnées étant alors comptées à partir de l'extrémité du jet, on a

$$b = R_1 \left(\frac{A}{H}\right)^{\frac{R^2 - R_1^2}{2R^2}},$$

et, en substituant cette valeur de b dans l'équation (10), on trouve pour y

$$y = \frac{R^2}{R_1^2} H \left[1 - \frac{R^2 - B^2}{R^2 - R_1^2} \left(\frac{A}{H}\right)^{\frac{R_1^2}{R^2}}\right]. \qquad (18)$$

On opérerait de la même façon, s'il s'agissait d'un point M' situé primitivement à l'intérieur du cylindre central; la détermination des coordonnées est, même dans ce cas, plus facile.

Trajectoire d'une molécule.

Nous ajouterons encore aux indications qui précèdent celles qui sont relatives au chemin que parcourt le point M, ou à sa trajectoire dans les trois périodes de son mouvement. Nous obtiendrons, dans chacune d'elles, l'équation de cette trajectoire en éliminant la variable h entre les coordonnées correspondantes du point M, après avoir toutefois rapporté les ordonnées à un plan fixe, celui de l'orifice, par exemple :

1° Les coordonnées du point en mouvement étant toujours désignées par a et par b, pendant la période dans laquelle le point M est conduit jusqu'à la surface du cylindre central, le principe de la constance des volumes est exprimé par la relation

$$(R^2 - B^2)\,A = (R^2 - b^2)\,a$$

et il faut remplacer a par sa valeur en a', en désignant par a' la nouvelle ordonnée $a' = h - a$ qui, à cause de la relation

$$\frac{a}{h} = \frac{A}{H} \text{ devient } a' = \frac{H}{A}\,a - a \qquad \text{d'où} \quad a = \frac{A\,a'}{H - A},$$

et en substituant, on trouve pour l'équation de la trajectoire

$$(R^2 - B^2)\,(H - A) = (R^2 - b^2)\,a'; \qquad (19)$$

2° Dans l'intérieur du cylindre central nous avons déjà écrit que $ab^2 =$ constante et par l'élimination de h, entre les valeurs des deux coordonnées, on trouve

$$ab^2 = AR_1^2\left(\frac{R^2 - B^2}{R^2 - R_1^2}\right),$$

et en mettant sa valeur, précédemment trouvée, en a' à la place de a

$$a'\,b^2 = R_1^2\,(H - A)\left(\frac{R^2 - B^2}{R^2 - R_1^2}\right); \qquad (20)$$

3° Enfin, dans le jet, nous avons déjà reconnu que la trajec-

toire est une parallèle à l'axe, qui est caractérisée par la valeur de b

$$b = R_1 \left(\frac{A}{H}\right)^{\frac{R^2 - R_1^2}{2R^2}} \qquad (21)$$

Nous attachons quelque intérêt aux équations successives de la trajectoire d'un point d'une masse solide, car jusqu'alors on n'avait obtenu aucune équation analogue que pour des déplacements compris dans les limites de l'élasticité.

Nous pensons que les considérations actuelles feront entrer dans le domaine de la mécanique les déplacements moléculaires qui suivent l'état dans lequel on dit que le solide est énervé.

VÉRIFICATION DES CONSÉQUENCES DE LA THÉORIE.

Nous avons développé la théorie qui précède sous la forme qui nous paraissait répondre le mieux aux conditions de l'expulsion du cylindre central primitif et qui avait eu pour nous un tel caractère de probabilité qu'elle nous avait conduit ultérieurement à des vérifications importantes de plusieurs faits annoncés par le calcul. Nous résumerons maintenant les conséquences de cette théorie dans un ordre tout différent, et qui sera déterminé par celui dans lequel nous avons précédemment consigné les observations résultant du seul examen des échantillons.

Nous dirons, sur chaque point de détail, quelles sont les concordances et les discordances entre les faits et les résultats du calcul.

Les numéros des divers paragraphes de cette comparaison correspondent à ceux qui ont été employés lors de l'examen des échantillons.

1° La transformée d'un rayon quelconque du cylindre formé par le bloc serait théoriquement représentée par une équation de la forme $YX^k = m$ dans toute la partie du bloc comprise dans le prolongement du jet.

En fait, la surface plane primitive dans laquelle ce rayon est compris se transforme en une surface de révolution un peu différente de celle qui serait caractérisée par l'équation précédente, mais qui s'en rapproche beaucoup par son aspect général.

En dehors du cylindre central les faces de joint devraient rester planes, mais elles obéissent en réalité à la déformation du centre des plaques, et elles s'inclinent notablement vers ce centre.

Les plaques supérieures sont d'ailleurs déformées à la circonférence par suite d'un écoulement qui se produit toujours, sous forme de bavures, entre la paroi du cylindre et celle du piston compresseur.

La théorie rend parfaitement raison de la forme cylindrique des tubes concentriques, mais elle voudrait que tous ces tubes fussent terminés par des faces planes, tandis que, par suite du frottement contre les parois de l'orifice, la calotte extérieure et toutes les autres offrent une convexité très-marquée.

2°, 3° et 4° sont parfaitement d'accord avec la théorie qui précède.

5° La distance d'une ligne de joint à l'extrémité du jet, mesurée suivant l'axe, est donnée par la formule (8 *bis*).

$$\alpha = \frac{R^2 H}{R_1^2}\left[1 - \left(\frac{n}{N}\right)^{\frac{R_1^2}{R^2}}\right].$$

Cette formule rend compte de la progression que suivent ces distances, dans un même jet, avec le nombre des plaques que l'on considère. Nous verrons même que cette valeur de α diffère souvent très-peu de la mesure prise sur un jet déterminé.

6° et 7°. Les observations consignées dans ce paragraphe sont complétement vérifiées par le calcul.

8° Le calcul ne peut en aucune façon tenir compte de ce défaut d'adhérence des plaques entre elles.

9° à 13° Tout ce qui est relatif à la formation des jets creux doit être comparé aux résultats d'une théorie de l'écoulement des corps solides dans laquelle la résistance de la matière pourrait être représentée par celle d'un cylindre qui remplirait le jet creux et qui s'opposerait suivant une certaine loi à sa déformation ; cette question importante est, quant à présent, réservée, et elle fera l'objet d'un mémoire spécial.

Mais, tout en laissant de côté cette étude, le calcul actuel met en lumière certains faits auxquels nous pouvons dès à présent donner un plus grand caractère de précision.

Cela est vrai surtout pour la transformation de ce que nous avons appelé le cylindre central, dans le jet.

L'équation de la transformée d'une des génératrices de ce cylindre devrait être (6)

$$y = \frac{R^2}{R_1^2} H \left[1 - \left(\frac{x}{R_1} \right)^{\frac{2R_1^2}{R^2 - R_1^2}} \right].$$

et nous avons cherché à matérialiser cette courbe au moyen d'une expérience spéciale, faite d'abord avec un certain nombre de plaques, mais finalement exécutée dans les conditions suivantes : nous avons placé dans notre cylindre compresseur, au-dessus de la matrice de 0,03, deux plaques de plomb d'une épaisseur de 0,003, et au-dessus de ces plaques nous avons également placé une rondelle de plomb de 0,024 d'épaisseur. Cette rondelle avait été percée, suivant son axe, d'un trou cylindrique de 0,03 de diamètre, et ce trou avait été rempli avec un bouchon cylindrique en plomb, aussi bien ajusté qu'il était possible.

La surface de joint entre la rondelle et ce bouchon constituait ainsi celle de notre cylindre central primitif, et, en recherchant cette surface de joint après l'écoulement, nous devions retrouver, avec plus ou moins d'exactitude, la surface calculée.

Le mode de préparation que nous avons adopté pour nos échantillons nous permettait de faire porter la comparaison sur le méridien obtenu par notre plan de section faite par l'axe du jet.

La figure ci-jointe (fig. 8) reproduit cette courbe méridienne, relevée avec grand soin sur l'échantillon, que nous avons d'ailleurs conservé, et elle met en regard la courbe de l'équation de la transformée, qui devient, pour ce cas particulier, où $R = 0^m,050$; $R_1 = 0^m,015$; $H = 0^m,030$

$$y = \frac{1}{3} \left[1 - \left(\frac{x}{0,015} \right)^{0,1978} \right].$$

La concordance presque absolue entre les deux tracés justifie pleinement les détails de calcul dans lesquels nous sommes entré ; elle en vérifie la théorie, et les hypothèses sur lesquelles cette théorie est basée.

Tableau comparatif des ordonnées de la transformée d'une génératrice du cylindre primitif, calculées et mesurées.

ABSCISSES pour lesquelles la vérification a été faite.	ORDONNEES calculées correspondantes.	ORDONNÉES mesurées sur l'échantillon.
mill.	mill.	mill.
$x = 1.5$	0.118	0.117
3.0	0.091	0.088
4.5	0.070	0.070
6.0	0.055	0.055
7.5	0.043	0.045
9.0	0.032	0.036
10.5	0.023	0.024
12.0	0.014	0.013
13.5	0.007	»
15.0	0.000	»

Nous ajouterons que l'on peut remarquer, à l'intérieur, quelques stries dirigées suivant la forme que doit prendre, dans l'intérieur du jet, une parallèle à l'axe, contenue originairement dane le cylindre central primitif.

La considération de cette transformée du cylindre central donne lieu à un rapprochement qu'il nous semble utile de signaler.

Toute section plane faite dans le bloc, perpendiculairement à l'axe, se transforme en une surface de révolution qui devient un cylindre à partir du plan de la face inférieure de ce bloc.

Cette alternance de transformations indique, au point de vue théorique, une sorte de réciprocité dans les effets. Elle fait voir que les tubes concentriques, s'ils étaient refoulés dans le bloc, avec la condition que la surface supérieure resterait horizontale, reformeraient les courbes primitives dans le même ordre de superposition.

Nous pourrions invoquer peut-être cette réciprocité comme une preuve de plus en faveur de nos déductions.

La comparaison entre la distance théorique et la distance réelle d'une courbe quelconque à l'extrémité du jet nous a paru, plus encore que la précédente, utile à faire; et notre mode d'ex-

périmentation et de préparation des échantillons nous permettait de la faire porter sur des circonstances plus variées. Tous nos échantillons y ont donné lieu, et les mesures pouvant être prises avec un degré suffisant de précision doivent inspirer toute confiance.

Pour reconnaître comment varient ces distances par rapport aux distances primitives dans le bloc, nous recourrons à la formule (8)

$$\alpha = \frac{R^2 H}{R_1^2}\left[1 - \left(\frac{A}{H}\right)^{\frac{R_1^2}{R^2}}\right],$$

et nous chercherons par la dérivée de cette fonction le rapport entre deux variations élémentaires de α et de A.

$$\frac{d\alpha}{-d A} = \left(\frac{H}{A}\right)^{\frac{R^2 - R_1^2}{R^2}}.$$

On remarquera que $-dA$ est précisément la valeur de l'augmentation de hauteur de la partie du bloc qui correspond à l'augmentation de hauteur $d\alpha$.

Sous cette forme on voit facilement que pour la valeur de $A = H$, qui correspond au fond du bloc, on a $\frac{d\alpha}{-dA} = 1$; c'est-à-dire que la tangente à la courbe qui exprime la relation entre les distances α et $H - A$ est inclinée à 45° par rapport à l'axe sur lequel les valeurs de $H - A$ sont comptées, ou, en d'autres termes, que pour ce point de départ la hauteur primitive d'une couche infiniment mince se conserve en vraie grandeur dans le jet.

En désignant par T l'angle que fait la tangente de cette courbe avec l'axe sur lequel les valeurs de $H - A$ sont comptées, on a toujours

$$\text{tang } T = \left(\frac{H}{A}\right)^{\frac{R^2 - R_1^2}{R^2}}.$$

Ce qui montre que cette tangente est toujours plus petite que $\frac{H}{A}$; la fraction $\frac{R^2 - R_1^2}{R^2}$ différant en général fort peu de l'unité, tang T augmente à peu près comme $\frac{H}{A}$, c'est-à-dire en raison

inverse de A ou de la hauteur primitive de la couche que l'on considère au-dessous de la face supérieure du bloc.

Pour $A = 0$, $\text{tang}' T$ devient infinie, c'est-à-dire que la courbe représentative devient tangente à la ligne d'ordonnée de son dernier point.

Toutes ces indications sont vérifiées par les tracés obtenus à l'aide des mesures prises sur les échantillons, et, afin de rendre la comparaison plus complète, nous avons joint à ce mémoire les deux courbes obtenues en prenant pour abscisses les nombres des plaques, comptées à partir de la base inférieure du bloc, et respectivement pour ordonnées les valeurs de α d'une part, et d'autre part les mesures directement relevées sur l'échantillon.

Les expériences que nous avons plus spécialement prises pour cette comparaison sont celles du 29 juillet 1864. Elles ont été faites toutes trois avec des plaques de plomb de 3 millimètres d'épaisseur, et la matrice employée était celle de $0^m.03$ de diamètre.

Les calculs ont été faits avec la formule

$$\alpha = \frac{R^2}{R_1^2} H \left[1 - \left(\frac{n}{N}\right)^{\frac{R_1^2}{R^2}}\right],$$

et nous avons mis en regard des valeurs calculées les mesures relevées sur chacun des échantillons, qui ne diffèrent, d'ailleurs, entre eux que par la longueur plus ou moins grande jusqu'à laquelle le jet avait été porté.

Tableau des valeurs de α pour les trois expériences du 29 juillet 1864.

$R = 0^m.050$ $R_1 = 0^m.015$ $H = 0^m.030$ $N = 10$.

NUMÉROS des plaques à partir du fond du bloc.	VALEURS correspondantes de n.	VALEURS calculées de α.	VALEURS MESURÉES DE α pour les jets		
			$l = 0^m.15$	$l = 0^m.20$	$l = 0^m.25$
		mill.	mill.	mill.	mill.
1	9	3.14	2.95	3.10	3.10
2	8	6.63	6.05	6.20	6.20
3	7	10.53	9.30	9.40	9.50
4	6	14.97	12.50	13.20	13.70
5	5	20.15	16.20	18.70	17.50
6	4	26.38	20.80	23.00	26.40
7	3	34.23	26.90	29.40	33.60
8	2	44.95	34.70	36.80	44.90
9	1	62.38	43.00	48.80	65.50
10	»	»	»	»	»

Nous avons reproduit (fig. 6), la disposition des courbes dans le jet de 0m.20, et nous joignons d'ailleurs cet échantillon lui-même à notre mémoire.

La même comparaison a été faite pour tous les autres jets, mais elle n'a pas toujours donné des résultats aussi favorables.

Pour résumer tous les résultats de cette comparaison dans une même vue d'ensemble, nous avons construit trois tableaux graphiques qui nous permettront de tirer une conclusion générale.

Profitant de ce que la valeur de α est proportionnelle à H, nous avons ramené tous nos essais à un même type, pour lequel on aurait $H' = 30$ centimètres, cette hauteur étant d'ailleurs fractionnée d'après le nombre exact des plaques de chaque essai.

Pour comparer les distances mesurées aux valeurs calculées de α, il a suffi de multiplier ces distances par 30 centimètres : H.

Quant aux abscisses, qui représentent le nombre des plaques, nous avons pris pour échelle une longueur totale de 50 centimètres, et nous avons subdivisé cette longueur en autant de plaques que l'échantillon considéré en comportait.

Ces trois tableaux sont respectivement consacrés aux jets d'un diamètre de 0m.02, 0m.03, 0m.04, et chacun d'eux est accompagné de la courbe théorique correspondante.

Nous y avons compris tout à la fois les jets de plomb et les jets de pâtes céramiques; toutes les courbes affectent une forme analogue à celle que notre théorie leur assigne. Il faut pourtant remarquer que, dans chaque série, les courbes dont les ordonnées croissent plus rapidement que ne l'indique la loi théorique, correspondent invariablement aux blocs les plus épais, et que, au contraire, toutes les courbes relatives aux blocs minces se maintiennent invariablement au-dessous de la courbe théorique.

Sans infirmer les considérations qui nous ont guidé dans ce travail, ces différences nous apprennent que la longueur des files de molécules, qui sont liées entre elles dans tous les sens, exerce une influence secondaire sur le résultat de l'écoulement, et nous retrouvons ainsi, mais en sens inverse, l'influence des épaisseurs, qui, dans le poinçonnage de notre premier bloc prismatique, détermine, suivant les cas, l'écoulement de la matière dans le sens horizontal ou dans le sens vertical.

Cette observation trouvera certainement son application lorsque nous examinerons la question de l'écoulement des corps solides, non plus seulement au point de vue géométrique, mais au point de vue du travail mécanique qu'il exige.

Ce nouveau point de vue se rattache intimement à l'étude des jets creux, qui va maintenant nous occuper, et dans laquelle la cohésion de la matière va se manifester par des différences sensibles et en quelque sorte caractéristiques.

APERÇU SUR LES APPLICATIONS DU PRINCIPE DE L'ÉCOULEMENT DES CORPS SOLIDES.

Nous croyons avoir démontré, par cette première série d'expériences, que les solides peuvent s'écouler, à la manière des liquides, lorsqu'ils sont soumis à des pressions suffisamment grandes. Nous avons fait voir comment ils se déforment suivant certaines lois géométriques, sous l'influence de ces efforts; comment aussi ces efforts se transmettent dans l'intérieur de la masse solide.

Nous avons suivi les molécules dans leurs déplacements; nous avons établi les lois suivant lesquelles les surfaces primitives se transforment en de nouvelles surfaces géométriques, dont nous avons défini la forme et la position. Nous avons enfin calculé, d'après certaines hypothèses, la trajectoire d'une molécule quelconque quand la forme générale se modifie, et nous avons ainsi mis hors de doute, par un nouveau procédé expérimental, applicable à d'autres recherches, une des propriétés fondamentales de la matière, en même temps que nous avons apporté des preuves nouvelles en faveur de l'unité de constitution.

Toutes ces indications se résument pour nous par ce mot : écoulement des corps solides, qui n'avait pas encore été prononcé, et qui, si nous ne nous trompons, doit avoir sur l'étude des mouvements moléculaires des corps solides une influence marquée. Il nous a déjà permis, dans plusieurs circonstances, de prévoir certains effets que nous avons ensuite vérifiés.

Nous avons dit, au commencement de ce mémoire, que l'idée de considérer les conditions de l'écoulement des corps solides nous avait été suggérée par les premiers résultats de nos expériences sur le poinçonnage des métaux. Toutes les opérations par

lesquelles on modifie un solide dans sa forme donneront lieu à des observations analogues. Dans le rabotage des métaux, le copeau se refoule sur lui-même, en diminuant notablement de longueur, par suite des pressions auxquelles il est soumis. Il nous suffit de citer ces diverses applications du principe de l'écoulement des solides pour donner un premier aperçu des résultats auxquels ce principe doit conduire, au point de vue de la transformation mécanique des corps solides, au point de vue de la résistance des matériaux, et au point de vue du travail dépensé dans les mouvements moléculaires.

Ces applications trouveront leur place dans une étude comparée des diverses actions auxquelles un corps peut être soumis dans les opérations industrielles, et nous nous bornerons, en terminant cette première communication, à dire quelques mots des applications que peuvent faire pressentir ces recherches dans le domaine purement scientifique.

Les grands phénomènes géologiques ont généralement fait admettre que la matière encore semi-fluide a été injectée à diverses époques sous de grands efforts. S'il nous a été donné, avec les faibles moyens dont nous disposions, de faire couler, à la température ordinaire, les métaux les plus durs, rien ne peut plus s'opposer à ce que l'on admette que, sous les puissantes étreintes des forces de la nature, les plus grandes masses aient été introduites, sans changement d'état, par toutes les fissures, et qu'elles aient pu refouler, sous cette action, les masses environnantes. Cette injection a dû se produire, quelle que soit l'échelle des phénomènes, dans les mêmes conditions que dans nos jets creux, formés de couches concentriques, et si l'on veut jeter les yeux sur les résultats comparatifs des expériences faites sur les matières grenues, déplacées par injection et par éboulement, il sera facile de trouver les caractères qui distinguent ces deux ordres de phénomènes, et de décider à laquelle des deux causes il faut attribuer un déplacement donné des couches, d'abord horizontales, d'un terrain bouleversé.

La concentricité des couches injectées sous une action mécanique bien moins puissante, mais plus continue, se présente encore dans des phénomènes d'un tout autre ordre. Il est impossible de ne pas reconnaître, à première vue, l'étroite analogie d'aspect qui existe entre une planche récemment sciée et la face

rabotée de nos jets. Dans l'un et l'autre cas, les couches concentriques sont coupées, parallèlement à l'axe, suivant des lignes presque parallèles, et, dans un sens perpendiculaire, suivant une suite de courbes presque concentriques.

Des expériences spéciales nous ont, d'ailleurs, fait voir que quand la section de la matrice n'est pas circulaire, les couches se disposent encore dans le jet parallèlement entre elles, et en conservant dans toute leur longueur la forme de la section primitive sur laquelle elles se sont moulées.

L'analogie ne se borne pas à ce premier rapprochement : dans d'autres essais où le bloc a été successivement rechargé, la surface extérieure du jet porte des bourrelets saillants assez semblables à ceux de certaines tiges cloisonnées. Ces bourrelets sont toujours accompagnés, à l'intérieur, d'un vide qui rappelle celui que présentent souvent ces mêmes tiges.

La circulation, dans les végétaux, semblerait donc être un exemple d'écoulement par couches parallèles, comme si, par impossible et du fait de la résistance des enveloppes, les phénomènes organiques obéissaient à cette loi générale de la mécanique que nous avons cherché à caractériser dans ce mémoire sous le nom de loi de l'écoulement concentrique des solides et des liquides.

Avec un peu plus de hardiesse que nous n'oserions en avoir, on pourrait peut-être se laisser aller jusqu'à entrevoir, d'une manière plus générale, que tous les tissus de l'organisme végétal et animal se développent ainsi par couches concentriques sous l'action des forces incessantes auxquelles les principes nourriciers sont soumis.

Nous ne nous permettrons pas d'aborder des sujets tout à fait en dehors du cours ordinaire de nos études ; mais, après avoir établi, sur nos échantillons, des faits irrécusables en ce qui concerne les corps non organiques, nous espérons que l'on ne nous reprochera pas, avec trop de sévérité, cette indication bien réservée de conjectures qui se sont présentées à nous avec quelque caractère de probabilité.

DES

APPAREILS DE CHAUFFAGE ET DE VENTILATION

à employer dans les hôpitaux,

PAR M. LE GÉNÉRAL MORIN.

La comparaison de la mortalité dans les hôpitaux de Paris et de Londres ayant donné lieu, dans l'hiver de 1861-62, à des discussions fort animées dans le sein du corps médical et à l'Académie de médecine, l'Empereur, toujours préoccupé du sort des classes pauvres, a pensé qu'il y avait lieu d'ouvrir une enquête à cet égard et de la confier à un comité supérieur, composé des représentants de la science et de l'administration.

En conséquence, un décret impérial, à la date du 29 août 1862, a créé, sous la présidence du ministre de l'intérieur, un comité consultatif chargé de l'examen de toutes les questions relatives à l'hygiène et au service médical des hôpitaux.

Ce comité a été composé de la manière suivante :

Président :

S. EXC. M. LE MINISTRE DE L'INTÉRIEUR.

Vice-Présidents :

M. LE PRÉFET DE LA SEINE.
M. LE PRÉFET DE POLICE.
M. DUMAS, sénateur, membre de l'Institut.
M. RAYER, membre de l'Institut.

Membres :

MM. Claude BERNARD, membre de l'Institut.
Edmond BLANC, chef de division au ministère de l'intérieur.
Alfred BLANCHE, conseiller d'État.
BOUCHARDAT, membre de l'Académie de médecine.
BOUILLAUD, membre de l'Académie de médecine.
BOULU, médecin de l'Empereur.

MM. Combes, membre de l'Institut, directeur de l'École impériale des Mines.

Devergie, membre de l'Académie de médecine.

Gilbert, architecte, membre de l'Institut.

Husson, membre de l'Institut, directeur de l'administration générale de l'assistance publique.

Jobert de Lamballe, membre de l'Institut.

Laval, architecte des Asiles impériaux de Vincennes et du Vésinet.

de Lurieu, inspecteur général des établissements de bienfaisance.

Malgaigne, membre de l'Académie de médecine.

Mélier, inspecteur général du service sanitaire.

Michel-Lévy, directeur de l'École impériale de médecine et de pharmacie militaires.

le général Morin, membre de l'Institut, directeur du Conservatoire impérial des Arts et métiers.

Parchappe, inspecteur général des Asiles d'aliénés.

Payen, membre de l'Institut.

Regnault, directeur de la pharmacie centrale des hôpitaux.

Reynaud, inspecteur général du service de santé de la marine.

Tardieu, doyen de la Faculté de médecine.

Trousseau, membre de l'Académie de médecine.

le baron de Watteville, inspecteur général honoraire des établissements de bienfaisance, directeur de l'Institution impériale des Jeunes Aveugles.

M. Antony Rouilliet, avocat à la Cour impériale, attaché au comité.

Immédiatement après son installation par le ministre de l'intérieur, le comité répartit l'étude des questions qu'il devait examiner entre plusieurs commissions. L'une d'elles, désignée sous le titre de Commission d'hygiène des hôpitaux, fut composée de :

MM.

Le général Morin, président;

Bouillaud, président de l'Académie impériale de médecine;

Combes, membre de l'Institut et du conseil de salubrité de la Seine;

Devergie, membre de l'Académie impériale de médecine;

Gilbert, architecte, membre de l'Institut;

Husson, membre de l'Institut, directeur de l'assistance publique;

Laval, architecte;

De Lurieu, inspecteur général des établissements de bienfaisance;

Malgaigne, membre de l'Académie impériale de médecine, secrétaire;

Melier, inspecteur général du service sanitaire de la marine;

Michel Lévy, membre de l'Académie impériale de médecine, directeur de l'école de médecine du Val-de-Grâce;

Parchappe, inspecteur général des asiles d'aliénés;

Payen, membre de l'Institut et du conseil de salubrité de la Seine;

Tardieu, membre de l'Académie impériale de médecine;

Baron de Vatteville, inspecteur général des établissements de bienfaisance.

Les questions principales que cette commission devait examiner d'abord étaient les suivantes :

Quels sont les meilleurs systèmes de ventilation, de chauffage, de latrines, d'éclairage, de bains, de buanderie, de service des salles, etc.?

Quel doit être, dans un hôpital à construire, le maximum des lits? Quel doit être le maximum des lits par salle?

Faut-il ou non des hôpitaux spéciaux par nature de maladies, et quels sont les meilleurs plans d'établissements à adopter pour des populations de 30, 100, 300 et 600 malades?

La première de ces questions est la seule dont on s'occupera dans cette note. Les deux autres ont fait l'objet de rapports particuliers approuvés par le comité, et que l'on trouvera dans le Bulletin officiel du ministère de l'intérieur.

Nous avons pensé qu'il pouvait être utile aux ingénieurs et aux architectes de connaître les motifs qui ont servi à fixer, après de longues discussions, les opinions du comité consultatif d'hygiène des hôpitaux sur la préférence qu'il convient d'accorder aux divers systèmes et appareils de chauffage et de ventilation qui ont été ou peuvent être employés dans les hôpitaux. C'est ce qui nous a engagé à reproduire *in extenso* le rapport suivant, en y joignant, sous forme de notes, désignées par les lettres A. M., quelques explications et quelques développements.

Général A. MORIN.

RAPPORT
SUR LES APPAREILS DE CHAUFFAGE
A EMPLOYER DANS LES HOPITAUX
AU NOM DE LA COMMISSION D'HYGIÈNE

Par le général **MORIN**, rapporteur.

La salubrité de l'air dans les salles destinées aux malades étant l'un des objets les plus importants à obtenir, et ce but ne pouvant être atteint que par une ventilation qui assure à la fois la sortie de l'air vicié et son remplacement par de l'air nouveau, la Commission, avant d'examiner les avantages et les inconvénients que présentent les divers systèmes d'appareils de chauffage à employer dans les hôpitaux, a cru devoir poser le principe suivant : *Tout chauffage qui, par son action directe, ne détermine pas un renouvellement suffisant et régulier de l'air, ou qui n'est pas coordonné avec une ventilation convenable, est insalubre et ne peut convenir aux hôpitaux.*

Dans l'examen que l'on va faire des divers appareils de chauffage, l'on ne perdra pas de vue ce principe, et l'on reconnaîtra de suite que, sous ce rapport, les cheminées ordinaires sont l'appareil le plus simple et le plus efficace, mais dans la saison du chauffage seulement.

On sait, en effet[1], qu'une cheminée d'appartement de dimensions ordinaires, au moyen d'un feu modéré, et par des températures extérieures de 12 à 15°, peut déterminer, à elle seule, l'évacuation de 1,000 à 1,200 mètres cubes d'air par heure. Si cet appareil, d'un usage agréable, assurait aussi bien le chauffage avec économie, il laisserait peu de chose à désirer pour la saison d'hiver.

Malheureusement, l'expérience prouve que l'air évacué par les cheminées ordinaires emporte et entraîne dans l'atmosphère

1. *Études sur la ventilation*, 1er volume, p. 295 et suiv.

les 5/6 ou les 6/7 au moins de la chaleur totale développée par le combustible, et que, sous le rapport du chauffage, elles ne peuvent être considérées que comme des appareils fort peu économiques, et qui, par conséquent, ne pourraient être employés dans les hôpitaux que dans des cas particuliers.

Les cheminées ont en outre en général, l'hiver, l'inconvénient grave de déterminer des appels et des rentrées d'air extérieur d'autant plus considérables qu'elles fonctionnent avec plus d'activité. Les appareils divers d'introduction et de chauffage d'une certaine quantité d'air extérieur qu'on leur a ajoutés jusqu'à ce jour consistent dans des systèmes de tuyaux plus ou moins compliqués aboutissant à des bouches dites de chaleur, et ne remédient à cet inconvénient que dans une très-faible proportion; attendu qu'en général le volume d'air fourni par ces bouches n'est qu'une très-minime fraction de celui qui est évacué et appelé par la cheminée, et que les plus efficaces de ces appareils fournissent de l'air à une température trop élevée.

Cependant l'on peut diminuer et rendre à peu près insensible le désagrément que cause l'arrivée de l'air par les portes des pièces voisines de celles où se trouve la cheminée, en ayant soin de faire chauffer, au moyen d'un calorifère général, les escaliers, les vestibules, les corridors des bâtiments, afin que l'air qu'ils fournissent aux pièces d'habitation y affiue toujours avec facilité et à une température convenable.

L'on y trouve en outre l'avantage d'obtenir un chauffage plus économique que par l'emploi de la cheminée seule, tout en conservant l'agrément de son usage.

Mais il serait possible de disposer les cheminées de façon qu'elles participassent des qualités économiques du poêle, tout en laissant jouir de la vue du feu découvert. Il suffirait d'utiliser une partie de la chaleur emportée par la fumée, en l'obligeant à circuler en arrière dans des tuyaux disposés dans une sorte de chambre à air ayant une prise extérieure et qui verserait vers le plafond un certain volume d'air échauffé à une température que l'on modérerait en manœuvrant convenablement des registres disposés à cet effet. Divers appareils de ce genre ont été proposés et appliqués avec des succès différents, selon qu'ils ont été plus ou moins bien disposés et proportionnés. Celui que la commission anglaise chargée d'étudier la question de l'assainisse-

ment des casernes a fait adopter[1] nous paraît réaliser en grande partie les avantages que nous venons d'indiquer, et il nous semble pouvoir être perfectionné dans certains détails, afin de le transformer en appareil de ventilation pour la saison d'été.

Les bons effets de ce nouveau modèle de cheminée ont été constatés par des expériences faites récemment au Conservatoire des arts et métiers et dont les résultats sont publiés dans les *Annales* de cet établissement[2].

Nous nous bornerons, dans ce rapport, à faire connaître que les cheminées de ce modèle nouveau, convenablement proportionnées, jouissent de la propriété d'introduire dans les pièces où elles sont placées, à une température modérée de 30 à 35° et près du plafond, un volume d'air à peu près égal à celui qu'elles évacuent par le tuyau de fumée, et qu'elles réduisent ainsi à presque rien le volume d'air froid appelé par les portes et par les fenêtres. La disposition du foyer étant d'ailleurs très-favorable à l'émission de la chaleur par le rayonnement, ces cheminées présentent sur les anciennes des avantages qui nous paraissent très-importants.

La première qui ait été l'objet d'expériences faites au Conservatoire évacuait, avec un feu modéré et une consommation de 10 kilogrammes de houille au plus par douze heures, environ 500 mètres cubes d'air, et en introduisait directement à peu près 400 mètres cubes à 30°. Elle aurait donc assuré la ventilation d'une salle de huit lits à raison de 60 mètres cubes d'air par heure et par lit.

Une autre cheminée d'un plus grand modèle, plus récemment essayée, évacue 800 mètres cubes d'air et en fait rentrer à peu près le même volume à 30 ou 35°; ce qui a suffi pour chauffer une salle de 270 mètres cubes de capacité, même quand elle n'était ni meublée ni habitée.

Dans ces conditions, les cheminées ainsi perfectionnées nous paraissent être un moyen de chauffage à la fois salubre et agréable pour des salles de malades contenant un nombre restreint de lits.

L'expérience des hôpitaux anglais montre en outre que l'on peut dans une même salle placer deux cheminées de ce genre,

1. *Études sur la ventilation*, 1er volume, p. 85.

2. *Annales du Conservatoire des arts et métiers*, n° 12, 1864.

sans que leur tirage soit contrarié ; ce qui d'ailleurs résulte de la propriété qu'elles ont de fournir elles-mêmes, par l'action de l'appel qu'elles exercent, un volume d'air à peu près égal à celui qu'elles évacuent.

Rien ne s'oppose d'ailleurs à ce qu'à l'aide d'orifices spéciaux d'admission de l'air nouveau l'on puisse mélanger de l'air frais à celui des salles en telle proportion qu'on voudra, et selon le régime hygiénique qu'il conviendra d'adopter pour les malades.

Mais nous rappellerons, à l'occasion de ces cheminées, ce que nous avons dit des autres, c'est qu'il convient d'en modifier la construction de façon que, pendant la saison où le chauffage devient inutile, elles puissent cependant encore assurer l'évacuation de l'air vicié et subsidiairement la rentrée de l'air frais.

Cela est facile à obtenir à l'aide de l'introduction d'un petit calorifère à coke dans l'intérieur de la cheminée, dont le foyer serait enlevé et dont le devant serait alors presque entièrement fermé pour éviter l'échauffement des salles et ne laisser de passage que pour l'évacuation de l'air vicié. La prise d'air ordinaire de la cheminée serait également fermée, et d'autres ouvertures d'une disposition semblable seraient ménagées en différents endroits de la salle à distance de l'orifice d'appel[1].

1. Il convient cependant de faire remarquer que, la combustion dans ce petit poêle devant être beaucoup moins active que celle de la cheminée à son état normal pendant la saison du chauffage, le volume d'air évacué par ce moyen en été sera de beaucoup inférieur à celui qui serait extrait en hiver, et pourrait alors être insuffisant.

Des expériences récentes faites au Conservatoire des arts et métiers ont, en effet, montré qu'un poêle de ce genre, placé dans la cheminée qui déterminait en hiver une évacuation de 800^{mc} d'air environ par heure, ne produisait, par les mêmes conduits, que la sortie de 638^{mc} par heure, avec une consommation réduite, il est vrai, à 3 kil. de houille, ce qui revient à 220^{mc} d'air évacué par kilogramme de houille brûlée dans des conditions défavorables.

Il faudrait donc pour obtenir, l'été, dans cette salle, l'évacuation de 800^{mc} d'air vicié, employer un second appareil semblable, qu'il serait d'ailleurs toujours facile d'installer au bas d'un conduit spécial d'évacuation.

Enfin, si le démontage partiel de la cheminée, pour faciliter l'introduction du poêle, présentait quelque difficulté, l'on pourrait disposer les conduits de ventilation d'été, ainsi que leurs poêles ou fourneaux, soit à droite et à gauche de la cheminée, soit en d'autres endroits convenables de la salle.

Nous ferons remarquer que l'installation de semblables poêles ou foyers auxi-

Des expériences faites au Conservatoire des arts et métiers avec un simple fourneau de laboratoire, disposé pour essai, comme on vient de le dire, ont montré que, dans une cheminée ordinaire, on pouvait faire évacuer par kilogramme de houille brûlée environ 1,400 mètres cubes d'air, alors que la température extérieure était de plus de 18°; ce qui prouve que ce moyen simple de produire l'appel est à la fois énergique et économique.

Mais quel que soit le parti que l'on puisse tirer de cheminées ainsi perfectionnées pour le chauffage et la ventilation des hôpitaux de petite et de moyenne grandeur, les nécessités administratives pouvant conduire souvent à recourir à des appareils généraux, nous devons continuer l'examen des autres modes employés.

DES POÊLES.

Les poêles ordinaires exigent peu d'air pour y assurer la combustion et donnent par leurs bouches de chaleur, même quand elles ont des prises extérieures, de l'air à une température habituellement trop élevée. Ils ne remplissent donc pas les conditions d'un chauffage salubre, puisqu'ils n'assurent pas même, dans l'hiver, l'arrivée et l'évacuation de volumes d'air suffisants[1].

Mais il est possible de construire des poêles en maçonnerie, disposés de manière à déterminer, dans la saison du chauffage, l'introduction d'un volume d'air élevé à une température modérée débouchant vers le plafond, et se répandant ensuite dans les salles pour y gagner des orifices d'appel pour l'évacuation de l'air vicié. Les vastes salles de l'hôpital d'accouchement et des

liaires d'appel et de leurs conduits d'évacuation de l'air vicié peut être, en temps d'épidémie, pour des hôpitaux provisoires ou pour des hôpitaux militaires en campagne, un moyen aussi simple qu'efficace d'assurer, dans la saison où le chauffage n'est pas nécessaire, une abondante et régulière ventilation. A. M.

1. Si l'application du principe posé au commencement de ce rapport est vraie pour tous les genres de chauffage, en ne considérant la question de salubrité qu'au point de vue du renouvellement de l'air, elle paraît être encore plus justifiée lorsqu'on emploie des poêles ou d'autres appareils construits en fonte. La perméabilité de cette matière par les gaz de la combustion, lorsqu'elle est fortement échauffée, semblant aujourd'hui bien établie, l'on est conduit à admettre que l'altération si désagréable que produisent dans l'air les poêles en fonte en usage dans les casernes, dans les corps de garde, dans les classes des

enfants trouvés, nommé *Gebar und Findelhaus*, à Vienne, contiennent deux poêles de ce genre, et ont trois larges cheminées d'évacuation de $0^m,65$ sur $0^m,50$ environ de section.

Pendant la saison du chauffage, qui se prolonge longtemps à Vienne, la ventilation est évaluée à 100 mètres cubes d'air par heure et par lit. Le rapporteur s'est assuré qu'au mois de mars dernier (1864) la température de l'air versé dans les salles, à près de 4 mètres au-dessus du plancher, ne dépassait pas 50 à 60 degrés.

Des dispositions analogues sont employées à l'hôpital de Béthania, à Berlin, dont les salles ne contiennent que 12 à 14 lits. Une prise d'air extérieure passant sous le plancher introduit l'air neuf dans des conduits particuliers du poêle, qui le versent près du plafond. Un autre conduit ménagé dans le massif du poêle, et communiquant avec le tuyau de fumée, sert à évacuer l'air vicié.

Ces derniers poêles sont placés au milieu des salles, de sorte que l'air vicié afflue des divers lits vers les malades qui s'approchent du foyer pour se chauffer, ce qui présente un inconvénient grave. Il faut d'ailleurs remarquer que cette ventilation, déjà insuffisante l'hiver et surtout au printemps et à l'automne, serait nulle l'été. Cependant il y aurait moyen d'améliorer un semblable dispositif et d'en utiliser le principe.

En résumé, ce n'est qu'en transformant les poêles en véritables calorifères à air chaud qu'on peut les employer avec quelque succès pour obtenir simultanément le chauffage et la ventilation pendant la saison d'hiver. Quant à celle du printemps, d'été et

colléges et partout où on les chauffe à la houille, peut être attribuée au passage d'une partie des gaz de la combustion à travers leurs parois. Ces gaz mêlés à l'air non renouvelé des locaux échauffés y produisent une altération qui peut parfois devenir funeste à la santé. Des communications récentes faites à l'Académie des sciences sur la différence très-notable de salubrité observée au Lycée de Chambéry entre les salles chauffées avec des poêles en faïence et celles qui le sont avec des poêles de fonte, ont appelé l'attention sur ce point. Il n'a pas encore été fait des expériences ni des observations décisives à ce sujet, mais l'on peut cependant regarder les poêles en fonte comme les appareils de chauffage les plus insalubres et désirer qu'ils soient bannis de tous les hôpitaux et en général de tous les lieux où un séjour prolongé des individus les rendrait dangereux pour la santé. A. M.

d'automne, il faut joindre à ces appareils des dispositions spéciales pour l'assurer.

Ajoutons enfin qu'à l'exception des petits hôpitaux, n'ayant que peu de salles, le service des poêles ne présenterait aucune économie sur des appareils généraux d'un effet plus sûr, plus régulier et d'une conduite plus facile, et qu'au point de vue de la salubrité ils sont toujours inférieurs aux autres appareils.

CALORIFÈRES A AIR CHAUD.

Ces calorifères, tels qu'ils sont ordinairement établis par les constructeurs, ont l'inconvénient grave de donner lieu à de très-grandes inégalités dans le chauffage. Tantôt, quand le feu est actif, l'air qu'ils fournissent alors en grande quantité en sort à des températures de 80 à 100 degrés, et fatigue les organes de la respiration; tantôt, au contraire, lorsque l'alimentation du feu a été négligée, le volume d'air fourni diminue dans une grande proportion, en même temps que sa température s'abaisse.

L'on reproche en général à ces calorifères d'occasionner dans l'air qu'ils traversent une altération peu définie et de permettre par les joints de leurs tuyaux ou par les fissures qui s'y forment le passage de certains produits gazeux de la combustion, tels que de l'oxyde de carbone, etc.

Ce qui est bien reconnu, c'est que le séjour dans des locaux chauffés directement par des appareils de ce genre, tels qu'ils sont disposés le plus souvent, est pénible pour beaucoup de personnes.

Mais l'on peut remédier à une partie de ces inconvénients en faisant au préalable arriver l'air chaud fourni par l'appareil dans une capacité ou chambre de mélange, dans laquelle on se réserve la facilité de faire affluer à volonté de l'air extérieur frais en proportion suffisante pour que le mélange d'air, ainsi formé, ait une température convenable quand il est introduit dans les locaux à ventiler. L'expérience a d'ailleurs démontré que cette température doit toujours être très-peu supérieure à celle que l'on veut maintenir dans ces locaux, et, par conséquent, très-modérée une fois qu'ils ont été échauffés.

L'usage de semblables chambres de mélange, employées avec succès au Théâtre-Lyrique, à celui de la Gaîté et pour les am-

phithéâtres du Conservatoire impérial des arts et métiers, assure à l'air introduit une température convenable; mais il ne saurait suffire à l'assainissement des lieux, et il est indispensable d'y ajouter des dispositions qui déterminent l'évacuation de l'air vicié pendant la saison du chauffage.

Quant à celle d'été, pendant laquelle le chauffage est nul, il ne convient dans aucun cas de faire passer l'air nouveau par l'intérieur du calorifère, et l'on ne doit compter pour son introduction que sur les orifices d'accès de la chambre de mélange et sur les orifices auxiliaires que l'on peut ouvrir.

Cette chambre qui, dans la saison du chauffage, peut être placée dans les combles, sera en général plus convenablement établie, soit dans les caves, soit dans l'intérieur des bâtiments, parce que l'été les greniers, quel que soit le mode de couverture employé, sont généralement beaucoup trop chauds[1]. Mais lorsque la chambre sera placée dans les caves, il conviendra qu'elle soit complétement isolée des parties fréquentées, et qu'elle soit munie de doubles portes fermant aussi hermétiquement que possible, afin d'éviter l'introduction de l'air venant de l'intérieur. La prise d'air sera d'ailleurs disposée conformément aux principes posés dans le rapport sur les appareils de ventilation.

Nous pouvons, dès à présent, faire remarquer que ce que l'on vient de dire des calorifères à air chaud s'applique en grande partie à ceux où l'air est échauffé par son contact avec des capacités remplies d'eau pour modérer la température qu'il peut acquérir. A l'aide des calorifères de ce genre, la température de l'air introduit dans les salles peut être limitée à 35 ou 40 degrés. Mais cette température est encore trop élevée le plus souvent

1. Des expériences récentes, dont nous ferons connaître les résultats dans un des prochains numéros, nous ont montré que, toutes les fois que l'on pourra disposer d'une prise d'eau ou d'un moteur susceptible d'en élever, il sera facile de s'opposer à l'élévation de la température intérieure des greniers, d'une part en y ménageant de larges ouvertures qui permettent à l'air d'y circuler jour et nuit, et de l'autre en arrosant pendant les heures où le soleil donne sur la couverture toute la surface du toit avec un filet d'eau de manière à la tenir constamment mouillée. Il suffit pour cela d'y verser environ 12 litres par heure et par mètre quarré de surface du toit, ce qui pour de grands édifices, et eu égard au petit nombre de jours de grandes chaleurs, ne conduit qu'à une dépense insignifiante. A. M.

pour les locaux habités, et il importe aussi de se ménager des moyens de mêler cet air avec de l'air plus frais, surtout au printemps et à l'automne, où le chauffage doit être modéré, mais sans qu'il en résulte cependant de diminution dans le volume d'air fourni, ainsi qu'on le reproche avec raison à quelques dispositifs particuliers.

Il est bon d'ajouter que l'on peut éviter en partie l'inconvénient du contact de l'air avec des surfaces métalliques fortement chauffées en surmontant la grille du foyer par une cloche à doubles parois, toujours remplie d'eau et sur laquelle s'exerce d'abord la plus grande énergie du feu, ainsi que le font quelques constructeurs.

L'emploi de semblables cloches à eau permet de plus d'établir dans les conduits inférieurs d'air chaud une circulation d'eau à l'aide de laquelle on peut étendre à une distance plus considérable l'action des calorifères à air chaud, qui, dans les dispositions ordinaires, est limitée à 15 ou 20 mètres dans le sens horizontal.

Ce système mixte a été employé avec succès dans certains cas et en particulier, il y a quelques années, au Conservatoire des arts et métiers, par M. Léon Duvoir[1].

En résumé, les calorifères à air chaud ou les calorifères à eau chaude et à circulation d'air peuvent être employés pour le chauffage des hôpitaux, pourvu qu'il y soit ajouté une chambre où l'air qu'ils fournissent soit à volonté mêlé, dans une proportion convenable, à de l'air frais pris à l'extérieur; mais ils n'assurent par eux-mêmes que le chauffage, et doivent toujours être accompagnés de dispositions et d'appareils d'appel propres à

1. M. Péclet a beaucoup critiqué l'emploi des appareils de chauffage par circulation d'eau chaude pour des locaux qui, tels que les amphithéâtres du Conservatoire, ne doivent être chauffés que pendant quelques heures. Cette critique a été reproduite par les ingénieurs qui ont revu et publié la 3e édition de son *Traité de la chaleur*. Mais s'ils avaient mieux connu les localités ils auraient vu que cette combinaison du chauffage à l'air chaud et du chauffage à l'eau chaude était parfaitement justifiée par la nécessité de chauffer, jusqu'à une distance de plus de 15 à 20 mètres, la bibliothèque du Conservatoire pendant toute la journée et le petit amphithéâtre le soir. Des dispositions analogues motivaient aussi cette combinaison pour le grand amphithéâtre lorsqu'elle a été adoptée. Elle peut donc dans beaucoup de cas être très-utilement employée. A. M.

déterminer en tous temps une évacuation stable et énergique de l'air vicié, en même temps qu'une introduction suffisante d'air nouveau.

Lorsque l'appel de l'air vicié se fera par en bas, il sera généralement facile de profiter de la chaleur abandonnée par les tuyaux de fumée de ces calorifères pour activer cet appel, et de disposer dans le voisinage un petit foyer spécial pour produire la ventilation d'été. Aussi serait-ce la disposition générale que nous indiquerions pour le chauffage et la ventilation des grands hôpitaux, où il n'y aurait de malades qu'au rez-de-chaussée et au premier étage, toutes les fois que les conditions administratives ne permettraient pas l'usage des cheminées.

La construction des calorifères à air chaud exige plus de soin qu'on n'y en apporte ordinairement. Les tuyaux de circulation de la fumée, en tôle, doivent être bannis, parce qu'ils se dégradent trop vite, et au moins autant l'été que l'hiver quand l'air y circule, et qu'ils exposent, par conséquent, à des dangers d'incendie dont on n'a que trop d'exemples. Il est nécessaire d'exiger que tous ces tuyaux soient en fonte, ils peuvent alors durer 15 à 20 ans [1].

Il faut signaler ici un danger que présentent ces calorifères à air chaud dans leurs dispositions ordinaires et qui se manifeste souvent quand toutes les bouches de chaleur, à l'exception d'une ou deux, sont fermées. Alors la température de l'air fourni par les bouches restées ouvertes s'élève à 300° et plus, il en résulte fréquemment des incendies; mais l'usage des chambres à air fait à peu près disparaître cet inconvénient.

1. Les calorifères à air chaud peuvent être construits entièrement en briques, ainsi qu'on le fait en Russie, surtout quand ils doivent être chauffés au bois. Ils deviennent alors de véritables réservoirs de chaleur et sont d'un service plus régulier et moins assujettissant, par conséquent, que les calorifères en fonte, dont ils n'ont pas les autres inconvénients. En employant des briques réfractaires pour leur construction, on peut aussi les chauffer à la houille.

Des expériences, dont nous ferons connaître les résultats dans l'un des prochains numéros, montrent qu'à l'aide de calorifères à tuyaux en fonte bien proportionnés, dans lesquels la surface totale de chauffe des tuyaux est d'environ 70 fois la surface de la grille du foyer, la quantité de chaleur emportée par l'air chaud qu'ils fournissent, à une température moyenne de 99 à 100°, est environ les 0.60 à 0.65 de la chaleur développée par le combustible brûlé. A. M.

L'expérience des constructeurs les plus prudents les a conduits à employer dans ces calorifères 8 à 10 mètres de surface de chauffe en tuyaux pour 1,000 mètres cubes de capacité des locaux à chauffer dans les conditions ordinaires de la construction; mais dans des locaux largement ventilés, la proportion devrait être au moins doublée pour éviter la nécessité d'introduire de l'air trop chaud[1].

CHAUFFAGE A LA VAPEUR.

La rapidité de la circulation de la vapeur sous l'action de pressions motrices assez faibles, la grande quantité de chaleur qu'elle abandonne en se condensant sont les avantages principaux de ce mode de chauffage, qui n'exige pour le passage de la vapeur que des tuyaux de faibles dimensions. Mais il a aussi, dans les dispositions le plus habituellement employées, des inconvénients assez graves.

Les inégalités dans la conduite du feu en introduisent promptement de très-sensibles dans la circulation de la vapeur; des négligences, trop fréquentes pendant la nuit, occasionnent des condensations. Lorsque le feu reprend de l'activité, la vapeur, qui afflue alors rapidement dans des conduits où un vide partiel s'est formé, rencontrant des masses d'eau liquide, les chasse violemment, et ces chocs produisent parfois des explosions, souvent des ruptures et des fuites, et très-fréquemment un bruit incommode et inquiétant.

Ces inconvénients graves ont généralement fait renoncer au chauffage direct par la circulation de la vapeur, excepté dans les usines où l'on emploie celle qui s'échappe des machines motrices, après y avoir agi. Dans ce cas, elle circule habituellement à travers de larges tuyaux apparents, ayant une pente suffisante pour que l'eau de condensation ne s'y accumule pas,

1. Le grand amphithéâtre du Conservatoire, dont la capacité, y compris toutes ses dépendances, est de 2,819 mètres cubes et où la ventilation renouvelle l'air moyennement huit fois par heure, est très-facilement chauffé par deux calorifères qui ont ensemble $64^{mq},50$ de surface de tuyaux, ce qui revient à $22^{mq},50$ par 1,000 mètres cubes de capacité chauffée. Mais l'un des calorifères étant moins bien proportionné que l'autre, je pense qu'en pareil cas 20 mètres quarrés de surface de chauffe pour 1,000 mètres de capacité serait une proportion suffisante. A. M.

et laissant à l'extrémité du circuit par la sortie de la vapeur non condensée un orifice qui permet aussi la rentrée de l'air, dans le cas où la cessation du feu amènerait un vide partiel. Mais lorsqu'il s'agit de chauffer des lieux habités, de conduire la vapeur à travers des planchers de peu d'épaisseur, les difficultés augmentent et tous les inconvénients apparaissent.

M. Grouvelle, habile ingénieur civil, a proposé et exécuté pour plusieurs hôpitaux un dispositif dans lequel la vapeur, au lieu d'échauffer directement les poêles placés dans les salles, transmet, à travers les parois des tuyaux dans lesquels elle circule, une partie de sa chaleur à de l'eau contenue dans ces poêles. Ce système, par suite de la grande densité de l'eau et de son peu de conductibilité de la chaleur, évite l'inconvénient du refroidissement trop rapide des poêles, quand la circulation de vapeur se ralentit ou cesse.

Les poêles ont, vers leur sommet, une petite ouverture qui empêche la température de l'eau de dépasser 100 degrés, et les tuyaux qui les traversent pour fournir un passage à l'air affluant de l'extérieur ne permettent pas à la température de cet air d'excéder 40 à 45°.

Des dispositions particulières donnent d'ailleurs la facilité de faire passer la vapeur par les poêles ou par des conduits extérieurs, de manière à modérer la température des salles, en ne chauffant qu'une partie de leurs poêles.

Mais, si l'on obtient par ce dispositif plus de régularité dans le chauffage, l'on n'évite pas les défauts des condensations dans les conduits qui traversent les planchers, ni les fuites toujours difficiles à trouver et à prévoir.

Quelques accidents survenus à l'hôpital Lariboisière ont même montré que ce système n'était pas tout à fait à l'abri des ruptures brusques.

Nous croyons qu'on pourrait conserver les avantages du chauffage à la vapeur et en éviter les principaux inconvénients, en disposant les tuyaux de circulation de la vapeur verticalement dans des gaînes ménagées dans l'épaisseur des murs, ou construites exprès, comme on l'a pratiqué en quelques endroits du pavillon de l'hôpital de Vincennes, ou comme l'a fait M. d'Hamelincourt pour la circulation de l'eau au bâtiment d'administration du chemin de fer du Nord.

On peut même disposer quelques-uns de ces tuyaux en forme de colonnes apparentes servant de poêles pour se chauffer les mains et les pieds, ainsi que cela se pratique dans plusieurs établissements publics d'Allemagne et de Suisse.

Ces dispositions, qui s'accorderaient très-bien avec la condition de faire arriver l'air nouveau vers le plafond[1], assureraient le retour immédiat de l'eau de condensation dans la chaudière, et atténueraient beaucoup les conséquences des fuites, auxquelles il serait plus facile de remédier que dans celle qui a été généralement adoptée jusqu'ici.

Rien ne s'opposerait toutefois à ce que l'on établît dans chaque salle un poêle à eau chauffé à la vapeur, d'après le système de M. Grouvelle, pour l'agrément des malades.

Il convient d'ajouter que, dans les hôpitaux qui doivent être ventilés, avec une surface de chauffe des poêles et des conduits de vapeur de 20 à 24 mètres carrés pour 1,000 mètres cubes de capacité des salles, on peut assurer le service du chauffage des salles à 16 ou 18° pendant les temps les plus froids. A l'hôpital Lariboisière, la proportion est de 26 mètres carrés, et elle est notablement plus grande qu'il ne serait nécessaire.

Mais il restera toujours à faire au chauffage à la vapeur, même ainsi modifié, le reproche d'être trop sensible aux inégalités du feu, et surtout aux négligences des chauffeurs, parfois prolongées pendant la nuit.

CHAUFFAGE PAR CIRCULATION D'EAU CHAUDE.

Ce système de chauffage, qui est connu et appliqué depuis longtemps avec des dispositions diverses, est beaucoup moins sujet à permettre des variations rapides de température que le précédent, attendu qu'à capacité égale les récipients et les conduits de circulation de l'eau chaude contiennent toujours un

1. Cet air chaud pourrait au besoin être immédiatement mêlé avec de l'air froid affluant au-dessus. M. d'Hamelincourt, dans le projet qui est décrit dans ce numéro des *Annales*, présente une application heureuse qu'il a faite de cette règle. A. M.

nombre beaucoup plus considérable d'unités de chaleur que s'ils étaient remplis avec de la vapeur[1].

La grande densité de l'eau, et la permanence de sa circulation à travers les parties échauffées des appareils, longtemps après que le feu a perdu de son activité, entretiennent une assez grande régularité dans le chauffage, malgré des négligences accidentelles.

La température de l'air échauffé par ces appareils est toujours très-modérée; il est même difficile de l'élever au delà de 40 à 45° avec des surfaces de chauffe considérables. Sous ce rapport, ce genre de chauffage est très-salubre, pourvu qu'il soit accompagné d'une ventilation abondante.

Il n'est pas indispensable d'établir, comme le faisait M. L. Duvoir, dans les parties supérieures des édifices, des récipients régulateurs vers lesquels l'eau chaude s'élève, et qui, par la différence de densité de hautes colonnes d'ascension et de retour, assurent à la circulation la rapidité convenable.

Les exemples des appareils employés à l'hôpital de Guy, à Londres, au palais de Sydenham[2] et de tous les appareils de chauffage des serres, prouvent qu'il suffit d'une faible distance verticale entre les tuyaux d'ascension et de retour pour que la moindre différence de température détermine la circulation, si les tuyaux ont des sections convenables.

On en a un autre exemple très-concluant dans les appareils de chauffage de certaines baignoires.

L'on peut disposer les tuyaux de circulation de l'eau destinée à échauffer l'air, soit dans les parties inférieures des édifices, soit verticalement dans des gaînes ménagées dans les murs ou

1. Un mètre cube d'eau à 100° contient 100 cal. × 1,000 kil. = 100,000 calories.

Un mètre cube de vapeur à 100° ne pèse que 0 kil., 59 et ne contient que 0,59 × 650 cal. = 383,5 calories.

On conçoit donc que l'approvisionnement de chaleur existant à un instant quelconque dans un ensemble de conduits et de poêles est, à volume égal, beaucoup plus grand dans les chauffages à l'eau chaude que dans les chauffages à vapeur. A. M.

2. Il existe dans ce palais, sous les planchers, un développement de tuyaux de circulation d'eau chaude d'environ 84 kilomètres, alimentés par vingt-cinq calorifères seulement. A. M.

en saillie à l'intérieur et par lesquelles affiue l'air nouveau qui s'échauffe au contact des tuyaux.

La première disposition, dans laquelle les conduits sont ou peuvent être apparents sur toute leur étendue et sont disposés dans des locaux faciles à visiter, rend les fuites à peu près sans importance, permet de les reconnaître et de les faire cesser.

La seconde, qui est pratiquée par M. D'Hamelincourt, et dans laquelle on dispose ordinairement des regards à hauteur de chaque joint, laisse à peu près la même facilité et permet de rejeter au dehors les eaux des fuites.

Toutes deux sont d'une installation plus économique que celle qui a été adoptée par M. L. Duvoir-Leblanc, qui faisait circuler l'eau dans l'épaisseur des planchers, et elles sont à l'abri des reproches, un peu exagérés du reste, qui ont été adressés aux travaux de ce constructeur.

Dans ces dispositifs, les poêles à eau peuvent être supprimés totalement ou réduits à un ou deux par salle, sous forme de colonnes verticales pour la commodité des malades.

Les appareils de chauffage par circulation d'eau chaude ne donnent pas, à surface égale, autant de chaleur que ceux à vapeur. L'observation des résultats obtenus à l'hôpital Lariboisière montre qu'une surface de chauffe de 27 m. q. par 1,000 m. cb. de capacité des salles est à peine suffisante par les grands froids, et nous pensons qu'il conviendrait d'allouer au moins 30 à 32 m. q. de surface totale de chauffe pour cette capacité de 1,000 m. cb. dans des locaux analogues aux hôpitaux.

Il convient d'ajouter que les appareils de chauffage, à la vapeur ou à l'eau chaude, se prêtent également aux dispositions à prendre pour assurer à l'évacuation de l'air vicié l'activité nécessaire.

Mais la régularité, la stabilité des températures étant beaucoup mieux assurées par le chauffage par circulation d'eau chaude que l'on peut activer, ralentir ou même arrêter partiellement ou en totalité, aussi bien que dans les systèmes où l'on emploie la vapeur, nous croyons qu'il mérite, en général, la préférence, surtout pour le service des hôpitaux.

CHAUFFAGE PAR CIRCULATION D'EAU CHAUDE A HAUTE TEMPÉRATURE.

Quant au système de chauffage par circulation d'eau chaude à haute température, connu sous le nom de système Perkins, où l'eau acquiert parfois une température supérieure à 300°, il ne peut être sans danger de faire circuler de semblables conduits dans les épaisseurs des planchers, dans le voisinage de pièces de bois qu'une si haute chaleur altère lentement et dispose à s'enflammer spontanément. Plus d'un exemple d'incendie a justifié cette appréhension.

Enfin, aujourd'hui, dans les établissements où l'on a adopté ce système de chauffage, tous les tuyaux en fer étiré sont apparents et suspendus aux murs ou aux plafonds, ce qui est d'un aspect fort disgracieux. Il est d'ailleurs indispensable d'entourer d'un grillage ou d'une enveloppe à distance les portions de ces tuyaux qui sont à portée du contact, pour éviter des accidents graves.

Par tous ces motifs, nous ne croyons pas qu'il convienne, dans aucun cas, d'employer, pour le chauffage des hôpitaux, le système Perkins ou de circulation d'eau à haute température.

En terminant, il n'est pas inutile d'ajouter que, d'après les résultats généraux connus jusqu'à ce jour, le chauffage par circulation d'eau chaude avec ventilation a été trouvé plus économique que le chauffage par les calorifères ou par les poêles, même sans ventilation, de sorte qu'il leur est préférable, sous tous les rapports.

Quant à la dépense d'installation des appareils destinés à assurer à la fois le chauffage et la ventilation des hôpitaux, elle s'est élevée pour les appareils de :

Chauffage par la vapeur et de ventilation par insufflation de MM. Thomas et Laurens à. . . . . 808 fr. par lit.

Chauffage par circulation d'eau chaude et de ventilation par aspiration de M. L. Duvoir-Leblanc à. . . . . 480 fr. par lit.

Il est certain que des appareils basés sur les mêmes principes que ce dernier, mais d'une disposition plus simple et aussi efficace, pourraient être aujourd'hui établis à beaucoup moins de

frais. Nous pouvons en fournir pour preuve un projet de chauffage par l'eau chaude avec ventilation par appel, préparé par les soins du rapporteur pour un très-petit hôpital de 16 lits répartis dans deux salles. La dépense d'établissement supposée faite en même temps que la construction ne s'élève, d'après le devis accompagné d'une soumission, qu'à 200 francs par lit, et elle serait évidemment moindre à proportion pour un hôpital plus considérable.

Le chauffage et la ventilation par les cheminées modifiées, comme nous l'avons indiqué, seraient encore d'une installation beaucoup moins dispendieuse, et, pour le même projet d'hôpital de 16 lits, la dépense ne s'élèverait au plus qu'à 100 francs par lit.

Il est d'ailleurs évident que, dans beaucoup d'hôpitaux existants, dont les salles ne seraient pas très-grandes, l'on pourrait, sans difficultés, substituer ce dernier système à l'usage insalubre des poêles.

En résumé, les appareils de chauffage qu'il convient d'adopter pour l'ensemble des bâtiments des grands hôpitaux doivent être classés dans l'ordre de préférence suivant, sous la réserve de l'influence que des considérations locales peuvent exercer sur le choix à faire :

1° Appareils de chauffage par circulation d'eau chaude;

2° Appareils de chauffage à la vapeur avec poêles ou récipients d'eau;

3° Calorifères à air chaud, avec ou sans cloche à eau, et avec chambre de mélange de l'air frais.

Mais pour les hôpitaux qui n'ont que de petites salles, il y aura lieu de préférer à ces appareils, pour le chauffage et pour la ventilation des salles, l'usage des cheminées disposées comme nous l'avons indiqué plus haut et qui sont faciles à installer dans des hôpitaux existants.

Dans ce cas, il pourrait encore être avantageux d'établir des poêles, ou un calorifère général, pour chauffer les cages d'escaliers, les corridors et les abords des salles.

En établissant, comme elle vient de le faire, un ordre de préférence entre les différents appareils à employer, la Commission n'entend pas prescrire des règles absolues, parce qu'elle ne méconnaît pas qu'il faut, dans tous les cas, tenir compte des con-

ditions administratives et locales qui peuvent exercer une grande influence sur le choix à faire.

Le rapport qui précède a été lu et discuté en séance du comité le 2 février 1865.

Le comité, après en avoir voté successivement les conclusions, l'a adopté dans son ensemble.

Le vice-président,
RAYER.

Le secrétaire,
DEVERGIE.

APPAREILS DE VENTILATION

En reproduisant ici *in extenso* le rapport du comité d'hygiène du service médical des hôpitaux relatif aux appareils de ventilation qu'il convient d'employer dans les hôpitaux, nous devons faire remarquer qu'il ne s'agit dans ce rapport que de la comparaison des divers dispositifs proposés ou essayés au point de vue des effets physiques ou mécaniques qu'ils peuvent réaliser. Il n'est et il ne pouvait, dans cette partie des travaux du comité, être nullement question des effets physiologiques et de l'influence de ces dispositifs sur la santé des malades.

Quoique quelques hôpitaux soient dotés d'appareils de ventilation plus ou moins parfaits depuis près de vingt ans, les données régulières d'observation manquent à peu près complétement pour la solution de cette dernière et si importante question.

Tout ce que les recherches de divers observateurs et nos propres expériences, ainsi que la discussion des résultats obtenus, nous ont appris, se réduit à nous permettre d'établir que tel ou tel dispositif est susceptible, quand il fonctionne à son état

normal, de déterminer l'évacuation et l'introduction de certains volumes d'air, qu'il présente certains inconvénients, qu'il devrait recevoir certaines modifications, etc., etc., et enfin nous autoriser à nous prononcer sur les principes qui doivent guider dans le choix des dispositifs proposés.

Mais en ce qui concerne les effets réels, journaliers, réguliers produits pendant toute l'année par ces mêmes appareils depuis qu'ils existent, sous le simple rapport du renouvellement de l'air, l'administration est restée jusqu'à ces derniers temps dépourvue de tout moyen régulier de contrôle indépendant de l'exactitude et de l'intelligence de ses agents. L'on ne saurait lui en faire reproche, puisque ces moyens n'existaient pas, ou plutôt que ceux que l'on connaissait exigeaient le concours d'expérimentateurs un peu exercés.

Mais la conséquence de cette absence de moyens de contrôle n'en est pas moins très-fâcheuse, en ce qu'elle ne permet pas encore aux médecins d'établir entre les hôpitaux pourvus d'appareils de ventilation et ceux qui n'en ont pas des comparaisons basées sur une marche régulière et normale de ces appareils, et qu'il en résulte pour quelques médecins des doutes sur l'efficacité réelle d'un abondant renouvellement de l'air dans les hôpitaux.

Aujourd'hui, les instruments qui ont manqué jusqu'ici existent, quelques-uns fonctionnent avec continuité, et ils permettront bientôt à un directeur d'hôpital de s'assurer, sans sortir de son cabinet, si le service de la ventilation se fait avec la régularité prescrite. Dès lors, cette régularité pourra être obtenue et l'appréciation des résultats physiologiques et hygiéniques deviendra possible avec plus de précision que par le passé.

Quoi qu'il en soit, il est assez évident *a priori*, et nos organes nous rendent assez sensibles les avantages d'une ventilation abondante et régulière, pour qu'il n'y ait aucun doute sur l'utilité et la nécessité d'un renouvellement constant et continu de l'air dans les salles des hôpitaux, et la question du choix des dispositifs à adopter conserve toute son importance. A. M.

RAPPORT

SUR LES APPAREILS DE VENTILATION

AU NOM DE LA COMMISSION D'HYGIÈNE DES HOPITAUX

Par le général **MORIN**, rapporteur.

Après s'être occupée des conditions d'établissement des hôpitaux généraux et spéciaux, du nombre et de la grandeur des salles, de leur disposition intérieure au point de vue du bien-être des malades, et des facilités du service, la Commission a porté ses études sur les questions qui se rattachent à l'hygiène et à la salubrité. Elle a indiqué le choix à faire pour la situation, pour l'exposition des bâtiments, les proportions à adopter pour la surface horizontale et pour l'espace cubique à allouer à chaque lit de malade, et elle s'est ensuite appliquée à l'étude des questions, fort controversées dans ces dernières années, qui se rattachent à la ventilation et au chauffage de ces asiles.

Depuis longtemps déjà, la sollicitude des administrations hospitalières s'était préoccupée de la recherche des moyens les plus sûrs à employer pour renouveler, dans les salles de malades, l'air incessamment vicié par les émanations plus ou moins insalubres produites par les individus souvent trop nombreux qui s'y trouvent réunis, et pour le remplacer par de l'air nouveau aussi pur que possible.

Dès l'année 1846, mettant à l'essai des dispositions appliquées depuis 1825 au palais du Conseil d'État et en d'autres lieux par feu Léon Duvoir-Leblanc, elle introduisait dans l'un des pavillons de l'hôpital Beaujon le système de chauffage par circulation d'eau chaude et de ventilation par aspiration de cet ingénieux constructeur, chez qui l'intelligence suppléait à l'instruction première. Cet essai, malgré son succès bien constaté sous le rapport de l'évacuation de l'air vicié, laissait à désirer sous celui de l'introduction régulière et convenable de l'air nouveau. Trop exclusif et, comme tous les inventeurs, trop confiant dans l'effi-

cacité des moyens, fort rationnels d'ailleurs, qu'il employait, Léon Duvoir n'avait pas suffisamment assuré la rentrée de l'air nouveau en toute saison; et cependant les médecins chargés du service dans cet hôpital avaient cru pouvoir constater que, tels qu'ils étaient, les appareils de ventilation avaient produit, dans la salubrité du pavillon qui en était pourvu, une amélioration considérable, qui influait notablement sur le rétablissement des malades.

Satisfaite de ce premier succès, l'administration des hôpitaux se décida à faire établir des appareils du même système dans l'un des pavillons de l'hôpital Necker, destiné aux femmes malades, et les résultats constatés par une Commission composée de MM. Combes, membre de l'Institut, Leblanc (Félix), répétiteur à l'École polytechnique, Gauthier, architecte, membre de l'Institut, et Huvé, architecte, montrèrent que, pendant l'été comme pendant l'hiver, le volume d'air vicié évacué par les appareils pouvait s'élever de 60 à 70 mètres cubes par heure et par lit, et même parfois dépasser de beaucoup ces chiffres.

La création du vaste hôpital qui porte aujourd'hui le nom d'*Hôpital Lariboisière* offrait à l'Administration une nouvelle et importante occasion de continuer les améliorations qu'elle avait déjà si heureusement introduites dans son service. Un projet complet pour cet hôpital avait été demandé en 1847 au même constructeur et examiné par une Commission, qui y avait indiqué diverses modifications ayant pour but d'accroître les moyens d'évacuation de l'air vicié et d'introduction de l'air nouveau[1].

Les événements de 1848 ayant fait ajourner la solution de la question, et des dispositifs différents ayant été proposés et présentés en 1852 à l'Administration comme résolvant le problème d'une manière à la fois plus sûre et plus économique, elle se décida à mettre la question au concours.

Mais, revenant sur les bases qu'elle avait précédemment admises, elle crut à ce moment devoir se borner à exiger :

1° Une ventilation continue d'air chaud pendant l'hiver, et d'air froid pendant la saison chaude, à raison d'au moins 20 mètres cubes par lit et par heure dans les salles de malades,

1. Cette commission était composée de MM. le lieutenant-colonel Morin, Gauthier de Claubry et Robinet.

2° Et une ventilation, pendant le jour seulement, dans les chauffoirs à raison de 10 mètres cubes par lit du pavillon correspondant.

C'était, il faut le dire, rétrograder et méconnaître les résultats de l'observation, qui avaient montré qu'à l'hôpital Beaujon et à l'hôpital Necker, si un renouvellement d'air obtenu à raison de 60 mètres cubes par heure et par lit avait constitué une grande amélioration, ce chiffre, bien supérieur à ce qui avait été jusqu'alors indiqué par la science, était encore à peine suffisant.

Aussi, lorsque l'un de nous, consulté par le ministre de l'intérieur au sujet des divers projets présentés au concours pour l'hôpital Lariboisière, dut donner un avis, crut-il devoir s'exprimer en ces termes[1] :

« Je crois donc, Monsieur le ministre, abstraction faite de « toute considération des différents systèmes proposés, devoir « vous prier d'exiger que le minimum du volume d'air expulsé « par lit des salles de malades soit fixé à 60 mètres cubes par « heure, et, pour les promenoirs, à 20 mètres cubes, avec obli- « gation de doubler cette quantité, dès que l'administration en « reconnaîtrait la convenance ou la nécessité, sans que la dépense « excédât dans une proportion donnée (20 pour 100 par exem- « ple) la dépense normale. »

Plus loin, le même rapporteur, au sujet des deux principaux systèmes mis en concurrence et dont l'un, celui de M. Léon Duvoir-Leblanc, procédait par aspiration, et l'autre, celui de MM. Thomas, Laurens et Farcot, opérait par insufflation, s'exprimait en ces termes :

« S'il ne s'agissait que de faire un essai comparatif sur l'un ou « l'autre des bâtiments ou même sur la moitié de part et d'autre, « je n'hésiterais pas, parce que, sans me préoccuper des inté- « rêts financiers, je ne verrais dans cette tentative, qui, dans les « deux cas, assurerait au moins de chaque côté une améliora- « tion considérable, qu'une grande expérience dont le résultat « final, en apportant au régime des hôpitaux un immense per- « fectionnement, donnerait les moyens sûrs de le généraliser.

« C'est à vous, Monsieur le ministre, qu'il appartient d'appré-

1. Rapport adressé à M. le ministre de l'intérieur par le général Morin. (Mai 1852.) *Études sur la ventilation*, page 431, 1er volume.

« cier toute l'importance de la question à ce point de vue géné-
« ral, et de ne pas la circonscrire à l'hôpital du Nord. »

Puis il terminait ainsi :

« Je conclus donc à ce que les appareils de M. Léon Duvoir-
« Leblanc soient adoptés pour trois des bâtiments de l'hôpital
« du Nord, et ceux de MM. Farcot, Grouvelle, Thomas et Lau-
« rens pour les trois autres.

« L'avenir décidera quel est celui des deux systèmes dont
« l'emploi doit être généralisé. »

Cette solution fut approuvée par le ministre, et c'est à cette circonstance qu'est dû l'établissement simultané des deux systèmes qui fonctionnent à l'hôpital Lariboisière, et qu'il faut attribuer la facilité que nous avons eue de les comparer dans des conditions à très-peu près identiques.

Plus tard, l'administration de l'Assistance publique, justement frappée des dépenses considérables qu'avaient entraînées ces installations, malheureusement faites après la construction des bâtiments (comme cela n'arrive que trop souvent), consentit à faire établir, d'abord comme essai, à l'hôpital Beaujon, et ensuite, à titre définitif, à l'hospice Necker, un autre système de ventilation par insufflation et de chauffage par l'air chaud, proposé par un médecin belge, le docteur Van Hecke, système qui a été aussi appliqué à l'Asile impérial du Vésinet.

Enfin, d'autres dispositifs ont été introduits, dans ces dernières années, à l'hôpital de Vincennes par le service du génie : ils procèdent par l'aspiration.

On voit, par cet exposé général des tentatives faites par l'administration des hospices de la ville de Paris, et plus tard par celle de l'Assistance publique qui lui a succédé, qu'elles n'ont reculé devant aucune dépense pour assurer à nos hôpitaux une ventilation susceptible d'y maintenir la salubrité. Si l'examen des résultats obtenus, si la discussion des nombreuses expériences faites par divers observateurs nous conduisent à des conclusions différentes de celles que l'Administration avait cru d'abord pouvoir accepter, il n'en est pas moins juste de reconnaître que, si nous sommes parvenus à énoncer des principes, à formuler des règles qui permettent d'obtenir à l'avenir des résultats stables et satisfaisants, nous n'aurions pu y arriver sans les lumières que nous avons puisées dans l'étude des appareils

établis par ces administrations et dans celle des expériences qu'elles ont provoquées, fait faire ou facilitées.

Chaque jour, en amenant quelque progrès nouveau dans les connaissances humaines et dans les arts, nous oblige tous à modifier nos idées et nos jugements, et de pareils changements dans les opinions, non plus que les discussions qui les amènent, ne sauraient être regardés comme une critique des travaux antérieurs, auxquels il est, au contraire, du devoir de tout appréciateur impartial de rendre pleine et entière justice.

Mais l'étude des travaux exécutés en France ne devait pas être la seule qui fût susceptible de jeter du jour sur l'importante question confiée à votre Commission, et elle avait aussi à tenir compte des tentatives plus ou moins heureuses faites à l'étranger, et plus particulièrement en Angleterre. Diverses publications, des renseignements fournis par M. le docteur Lefort, ainsi que des documents recueillis par l'un de nous, nous ont servi à compléter nos recherches sous ce rapport.

Après ce préambule nécessaire pour faire connaître la situation générale du problème et les dispositions que la Commission apportait à l'étude des questions qu'elle avait à examiner, il convient d'indiquer la marche qu'elle a suivie pour parvenir à leur solution.

Sans se préoccuper aucunement d'abord des différents dispositifs employés ou proposés, elle a cherché à bien préciser le but et les conditions d'une bonne ventilation, en se réservant de partir de ces prémisses pour l'examen ultérieur de ces dispositifs.

VOLUME D'AIR A RENOUVELER PAR LIT DANS LES HÔPITAUX.

Avant de s'occuper des moyens à employer pour assurer le renouvellement de l'air dans les salles et dans les dépendances d'un hôpital, il était naturel de fixer les idées sur le volume d'air nécessaire à l'assainissement de ces locaux.

Les opinions ont été, jusqu'à ces derniers temps, fort partagées à ce sujet, et les données de la science physiologique n'ayant pu servir à les fixer, il faut recourir à l'expérience pour déterminer ces volumes, en tenant compte des conditions particulières aux hôpitaux.

Sans rappeler les évaluations successives des commissions d'hygiène, qui, en 1843, regardaient un volume de 10 mètres cubes d'air par heure et par malade comme suffisant, et sans revenir sur celle de 20 mètres cubes que l'Administration des hôpitaux adoptait dans le programme de 1852 pour l'hôpital Lariboisière, nous nous contenterons de dire que l'ensemble des observations a conduit presque tous ceux qui se sont occupés de la question à reconnaître aujourd'hui que, pour les salles de malades ordinaires, ce volume doit être, au minimum, de 60 mètres cubes par heure et par lit.

Une observation faite par l'un de nous à l'hôpital Lariboisière a montré en effet qu'on ne pouvait, sans inconvénients, diminuer sensiblement ce volume[1]. Dans le courant du mois de février 1861, le nombre des malades reçus dans cet hôpital s'étant beaucoup augmenté, on a été dans la nécessité d'installer, dans quelques-unes des salles et, en particulier, dans celles du pavillon n° 1, des lits supplémentaires, de sorte qu'au premier et au second étage, le nombre des lits a été porté de 32 à 42 ou 44; dès lors la ventilation habituelle, qui n'est en moyenne que de 60 à 70 mètres cubes par heure et par lit, quand il y en a 32, s'est trouvée réduite à 45 ou à 53 mètres cubes, et est devenue tout à fait insuffisante; une odeur très-forte et très-désagréable régnait dans ces salles : au dire des malades, l'infection était surtout très-intense pendant la nuit.

L'on a alors activé l'évacuation de l'air vicié, en allumant dans la cheminée générale 53 becs de gaz, qui y avaient été placés pour des expériences spéciales, et le volume d'air évacué s'étant élevé à 7,250 mètres cubes environ, et le nombre des malades dans ce pavillon étant alors de 120, on a ramené la ventilation au chiffre de 60 mètres cubes environ d'air par heure et par lit : l'amélioration dans la salubrité de l'air a été immédiate.

On voit donc que, si l'extraction d'un volume de 60 mètres cubes d'air par heure et par lit suffit à peine pour entretenir l'air des salles à un degré acceptable de pureté, celle d'un volume de 45 mètres cubes était tout à fait insuffisante.

Le volume de 60 à 70 mètres cubes d'air par heure et par lit est aujourd'hui admis par l'administration de l'Assistance pu-

1. *Études sur la ventilation*, 1er vol., page 345.

blique comme base des dispositions à prendre pour la ventilation des hôpitaux dans les cas ordinaires.

Mais pour les salles de blessés, dans lesquelles des plaies purulentes exhalent souvent une odeur fétide, et où, par suite, se déclarent fréquemment des affections érésypélateuses ou autres, et pour les hôpitaux de femmes en couches, il nous a paru nécessaire d'élever ce volume à 80 ou 100 mètres cubes en temps ordinaire, et à 150 mètres cubes en temps d'épidémie[1].

Quant aux hôpitaux destinés aux enfants et aux hospices où sont reçus les vieillards ou les aliénés, une ventilation calculée à raison de 30 à 40 mètres cubes par heure et par individu nous paraît suffisante.

En résumé, votre Commission vous propose de fixer ainsi qu'il suit les volumes d'air à renouveler dans les salles des hôpitaux :

	Par heure et par individu.
Malades ordinaires	60 à 70 mètres cubes.
Blessés et femmes en couches. . . .	80 à 100 —
En temps d'épidémie.	150 —
Enfants.	30 —
Dans les hospices de vieillards. . .	40 —

La condition d'augmenter le volume d'air normal dans une proportion considérable exige nécessairement que des dispositions spéciales soient prises pour assurer cet accroissement.

CONDITIONS ET BUT DE LA VENTILATION.

Ces bases étant posées, votre Commission, avant d'entrer dans la discussion des systèmes de ventilation proposés ou employés jusqu'à ce jour, a dû chercher à bien préciser le but à atteindre et les conditions auxquelles il faut satisfaire.

Le renouvellement de l'air dans les lieux habités n'étant rendu nécessaire que par l'altération qu'y produisent les émanations

1. Le volume de 100 mètres cubes d'air par heure et par lit est aujourd'hui admis comme base de la ventilation des hôpitaux de femmes en couches de Vienne et de Saint-Pétersbourg.

du corps, ou par la chaleur qu'y développent les individus ou les appareils d'éclairage, et souvent par ces deux causes réunies, il a paru évident à votre Commission qu'elle devait admettre pour base de ses discussions le principe suivant :

La ventilation hygiénique des hôpitaux doit avoir pour but et pour effet principal d'extraire l'air vicié des lieux et des points mêmes où il se produit.

Mais, toute extraction d'air d'un espace quelconque qui n'est pas hermétiquement clos et dans lequel le vide ne peut exister impliquant nécessairement la rentrée de l'air nouveau, on ne doit pas, dans la solution des questions de ventilation, séparer l'étude des dispositions à prendre pour assurer la rentrée de l'air de celles qui ont pour objet son extraction.

Cependant, quoique ces deux questions soient connexes et très-étroitement liées l'une à l'autre, la première (celle de l'extraction) est évidemment la plus importante; la seconde n'en est que la conséquence forcée. Cela est si vrai que, quand la solution de la première est assurée, la nature seule se charge presque toujours d'une grande partie de celle de la seconde. Les cheminées ordinaires d'appartement et l'appel d'air qu'elles exercent de l'extérieur vers l'intérieur en fournissent un exemple trop évident pour qu'il soit nécessaire d'en citer d'autres.

Partant de ces considérations, la Commission a décidé qu'elle examinerait d'abord les divers systèmes à comparer au point de vue de l'énergie, de la régularité et de la stabilité qu'ils sont susceptibles d'assurer à l'évacuation de l'air vicié.

SYSTÈMES DIVERS DE VENTILATION EMPLOYÉS.

Sous des formes et avec des dispositions différentes, deux systèmes de ventilation étaient à comparer : l'un, le plus ancien de beaucoup, en usage de temps immémorial dans les mines les plus profondes, représenté dans nos habitations par les cheminées, détermine l'évacuation de l'air vicié des lieux à ventiler par l'excès de la température de l'air dans un puits ou dans une cheminée d'évacuation sur la température extérieure ou, ce qui revient au même, par l'excès de la densité de l'air extérieur sur celle de l'air qui circule dans la cheminée.

La théorie[1] et l'expérience sont d'accord pour montrer que le volume de l'air évacué est proportionnel, toutes choses étant égales d'ailleurs,

1° A l'aire de la section transversale de la cheminée;

2° A la racine carrée de la hauteur de la cheminée;

3° A la racine carrée de l'excès de la température de l'air dans la cheminée sur la température extérieure.

Ce mode de ventilation porte le nom de *ventilation par aspiration*. L'excès de température qu'il est nécessaire de maintenir dans la cheminée est ordinairement obtenu dans les mines et dans certains édifices, comme à la prison Mazas, au Conservatoire des arts et métiers, etc., au moyen de foyers allumés au bas des puits ou conduits d'évacuation. Dans d'autres cas, on se sert de récipients, dans lesquels circule de la vapeur ou de l'eau chaude. Enfin, la chaleur développée par la combustion du gaz peut être utilisée, soit d'une manière permanente, soit accidentellement, selon les besoins.

Quel que soit le mode d'échauffement de l'air, et quelle que soit la température extérieure, toutes les fois que la température dans le conduit d'évacuation dépassera d'un même nombre de degrés celle de l'air extérieur, la vitesse dans ce conduit et, par conséquent, le volume d'air écoulé seront les mêmes : c'est, comme nous venons de l'indiquer, ce que nous apprend la théorie aussi bien que l'expérience; nous aurons plus loin l'occasion de le vérifier.

Tel est, dans son ensemble et dans ses conditions fondamentales, le système de la ventilation par aspiration.

Quelquefois, cependant, on remplace l'action de la chaleur par celle d'un ventilateur aspirant, que l'on établit alors le plus souvent à la partie supérieure du puits ou conduit d'extraction. Ce dispositif est employé dans les mines pour la ventilation proprement dite, et plus souvent dans les aiguiseries et dans les usines où se développent des poussières dangereuses ou incommodes.

La condition de stabilité de l'évacuation se réduit alors à peu près à celle de la constance de la vitesse du ventilateur.

Le second système, qui a reçu le nom de *ventilation par insuf-*

1. *Études sur la ventilation*, tome Ier, pages 168 et suiv.

flation ou *par pulsion*, est basé sur l'emploi d'appareils mécaniques, et en particulier de ventilateurs plus ou moins puissants qui, par des conduits ordinairement placés sous le sol, dans les murs et enfin sous une partie des planchers, font pénétrer dans les salles à ventiler de l'air refoulé par leur action, et déterminent nécessairement la sortie d'un volume égal par les orifices qui peuvent permettre cette évacuation.

Les partisans de ce système, pensant que cette affluence de l'air dans les salles devait y produire un accroissement de pression assez notable, en ont conclu que l'air intérieur vicié serait ainsi forcé de s'écouler par les orifices et par les conduits d'évacuation ménagés à cet effet, et que, pourvu que la vitesse de marche du ventilateur fût suffisante et constante, celle de l'introduction de l'air refoulé le devenant aussi, il en serait nécessairement de même de l'évacuation par les conduits disposés dans ce but. On verra plus loin que ni l'une ni l'autre de ces conclusions ne sont exactes; la dernière surtout beaucoup moins que la première.

Il résulte de la description générale que nous venons de donner des deux systèmes de ventilation que, dans celui de l'aspiration, les mouvements de l'air sont analogues à ceux de l'eau dans une pompe aspirante, l'air évacué étant nécessairement remplacé par de l'air nouveau, et qu'à l'inverse celui de l'insufflation devrait opérer à la manière des pompes foulantes, en obligeant à sortir des salles un volume d'air vicié égal à celui qui y serait entré.

Nous verrons plus loin à quelles conditions le premier système peut réaliser les effets proposés, et s'il est possible que le second parvienne à satisfaire à celle d'une expulsion régulière et stable de l'air vicié. Mais, dès à présent, il y a lieu de faire remarquer que, par suite des différences naturelles et inévitables de la température de l'air admis, de l'air évacué et de l'air extérieur, l'aspiration doit toujours participer, dans une certaine proportion, aux effets des appareils d'insufflation : c'est ce que l'expérience nous montrera.

DISPOSITIONS GÉNÉRALES ADOPTÉES A L'HOPITAL LARIBOISIÈRE.

Il ne peut être question, dans ce rapport, de comparer les ré-

sultats de l'application de ces deux systèmes qu'en ce qui concerne spécialement les hôpitaux, et, pour le faire avec quelque clarté, il est nécessaire de donner une idée sommaire des dispositions générales employées pour obtenir dans les salles de malades l'évacuation de l'air vicié le plus près possible des points où l'infection se produit, c'est-à-dire près des lits des malades, sans qu'ils en soient incommodés.

Afin de faire cette comparaison de la manière la plus équitable, nous choisirons d'abord pour termes les dispositions adoptées pour les pavillons de l'hôpital Lariboisière, où sont établis d'une part, dans les trois pavillons n°s 1, 3 et 5, destinés au service des femmes, les appareils de ventilation par aspiration et de chauffage à l'eau chaude du système de M. Léon Duvoir-Leblanc, et, d'une autre part, dans les pavillons n°s 2, 4 et 6, les appareils de ventilation par insufflation, et de chauffage par la vapeur, du système de MM. Farcot, Thomas et Laurens.

Dans chacun de ces pavillons, à trois étages, il y a trois salles contenant chacune 32 lits et trois petites chambres à 2 lits, ce qui donne 96 lits pour les grandes salles, 6 pour les petites chambres, et en tout 102 lits par pavillon à l'état normal.

Les bâtiments sont simples, éclairés sur chacune des deux faces par huit fenêtres. Deux lits sont placés devant chaque trumeau, à $0^m,40$ ou $0^m,50$ du mur, et, dans l'intervalle de ces deux lits, un conduit d'évacuation vertical, partant du niveau du plancher, est destiné à l'extraction de l'air vicié. La disposition des deux groupes de pavillons est identique sous ce rapport, ainsi que sous celui des autres détails généraux de la construction.

Les conduits d'évacuation de l'air vicié particuliers à chaque étage s'élèvent dans les trumeaux jusqu'au niveau du grenier, où ils débouchent dans des conduits horizontaux qui dirigent l'air extrait vers une cheminée générale d'évacuation commune aux trois salles d'un même pavillon.

Mais, dès à présent, il importe de signaler une différence assez notable qui existe entre les deux groupes de pavillons, dans la disposition de ces derniers conduits et des cheminées.

Dans ceux (n°s 1, 3 et 5), où l'on procède par aspiration, les conduits verticaux venant d'un même trumeau débouchent, trois pa trois, dans un même conduit horizontal, isolé des autres,

qui se rend directement dans une sorte de chambre à air, laquelle forme la base de la cheminée d'évacuation, construite en briques. Dans cette chambre et dans la cheminée sont placés des récipients où circule de l'eau chaude, qui, en échauffant l'air affluent, doit donner à l'aspiration le degré d'énergie nécessaire. Le grenier est clos, plafonné, et mis autant que possible à l'abri du refroidissement.

Dans les pavillons nos 2, 4 et 6, ventilés par insufflation, tous les conduits verticaux, venant d'une même face des pavillons, débouchent dans un conduit horizontal commun placé dans l'angle aigu formé par les longs pans du toit et par le sol du grenier. Ces deux conduits débouchent par deux canaux inclinés à la base de la cheminée d'évacuation, qui est en zinc et qui ne reçoit aucun appareil propre à activer l'évacuation, pour laquelle, dans ce système, on a exclusivement compté sur l'action de l'appareil d'insufflation.

Cette dernière disposition est évidemment moins convenable que la première : les conduits horizontaux, communs à tous les canaux d'évacuation verticaux d'une même face, sont bien plus exposés au refroidissement que ceux des autres pavillons; s'il s'y fait quelques fissures, ce qui arrive toujours avec le temps, il est difficile de s'en apercevoir et de les réparer; ils peuvent faciliter la communication des conduits d'évacuation des lits d'une même salle avec ceux des diverses salles, et servir à des rentrées d'air vicié d'un étage à l'autre, ainsi que cela arrive quelquefois dans ce système, comme on le verra plus loin. Enfin, la cheminée en zinc, qui n'est pas préservée contre le refroidissement par une chemise de briques, permet en hiver un abaissement très-notable de la température de l'air vicié évacué, ce qui nuit beaucoup à l'activité de l'évacuation.

Ces défauts, dont le dernier est la conséquence de l'excessive confiance que les auteurs du système avaient dans l'énergie de l'action du ventilateur, peuvent être corrigés; mais dans l'état actuel, ils nuisent à la marche de l'évacuation.

Nous ne nous étendrons pas davantage, pour le moment, sur la description des appareils dont il s'agit de discuter les effets, et nous nous bornerons à ce qui concerne l'évacuation de l'air vicié, nous proposant d'en comparer les effets sous les rapports de l'énergie, de la régularité et de la stabilité.

VENTILATION D'HIVER.

Dans cette saison, où la température de l'air extérieur est basse, tandis que celle des salles est maintenue à 16° dans les pavillons ventilés par aspiration, et à 18° ou 19° dans ceux qui le sont par insufflation, l'évacuation de l'air vicié se fait à peu près régulièrement par tous les conduits, dans l'un comme dans l'autre système; c'est ce qui résulte des expériences comparatives, exécutées par MM. E. Trélat et par H. Péligot[1] : les volumes d'air vicié évacués atteignent et dépassent souvent alors la proportion de 60 mètres cubes par heure et par lit[2].

Mais il n'en est pas à beaucoup près de même au printemps et à l'automne, quand il fait du vent, et encore moins en été, lorsque le chauffage étant faible ou nul, la température extérieure s'élève et se rapproche de celle de l'air des salles : alors, et surtout quand il fait du vent, se manifeste toute l'infériorité du système de l'insufflation, et au contraire toute la supériorité de celui de l'aspiration.

Sans entrer dans une discussion détaillée des résultats des nombreuses expériences exécutées à diverses époques par différents observateurs[3], nous les résumerons rapidement.

VENTILATION PAR INSUFFLATION. — INFLUENCE DES TEMPÉRATURES.

Lorsque la température extérieure se rapproche de celle des salles, le volume d'air évacué par heure et par lit dans les pavillons nos 2, 4 et 6, ventilés par insufflation, s'abaisse à trente

1. *Etudes sur la ventilation*, 1er vol., page 385, *Insufflation.*

2. *Études sur la ventilation*, 1er vol., page 453, *Aspiration.*

3. Une partie des expériences dont il est ici question ont été faites, par mes soins, le 31 août 1863, au pavillon n° 4 de l'hôpital Lariboisière. Elles ont donné les résultats suivants :

TEMPÉRATURE extérieure.	TEMPÉRATURE dans la cheminée.	DIFFÉRENCE de la température dans la cheminée et de la température extérieure.	TEMPÉRATURE dans les salles.	VOLUME d'air total évacué par heure.	VOLUME d'air évacué par heure et par lit.
—	—	—	—	—	—
16°	22°	6°	22°.50	3215mc	31mc.52

Études sur la ventilation, p. 420, 1er volume.

L'on remarquera que la température des salles était de 22°.50, alors que celle

et quelques mètres cubes, tandis que le même jour le volume évacué par heure et par lit dans les pavillons nos 1, 3 et 5, ventilés par aspiration[1], s'est élevé en moyenne à 82 mètres cubes.

de l'air extérieur n'était que de 16°, ce qui montre combien la ventilation de ces pavillons est insuffisante.

Si la température extérieure avait été plus élevée, il est évident que le volume d'air évacué par heure et par lit aurait été encore moindre.

D'autres expériences exécutées en avril et mai par MM. Leblanc, repétiteur de physique à l'École polytechnique, et Ser, ingénieur de l'assistance publique, ont fourni les résultats suivants :

DATES	TEMPÉRATURE		EXCÈS de la température de la cheminée sur la température extérieure.	VOLUME d'air total évacué par la cheminée par heure.	VOLUME d'air évacué par heure et par lit.
	extérieure.	intérieure de la cheminée.			
29 mars. .	15°.0	17°.0	2°.0	3046^{mc}	29^{mc}.86
11 avril. .	13 5	14 5	1 0	3250	31 80
2 mai. . .	14 9	17 0	2 1	2975	29 19
9 mai. . .	15 0	15 4	0 4	3700	36 27
		Moyenne.		3243^{mc}	31^{mc}.79

Etudes sur la ventilation, p. 387. A. M.

1. Les expériences d'été sur les pavillons 1, 3, 5, ventilés par aspiration, ont été faites d'abord par M. Guérin, ingénieur de la maison L. Duvoir, au mois d'août 1861, et ont été répétées quinze jours de suite, du 5 au 22 inclusivement, principalement pendant les nuits, attendu que pendant le jour les portes étaient constamment ouvertes. Elles ont été répétées et vérifiées le 31 août par les soins de la direction du Conservatoire.

Les résultats moyens de ces expériences sont résumés dans le tableau suivant :

Expériences sur la ventilation d'été dans les pavillons de l'hôpital Lariboisière, ventilés par appel, exécutées par M. Guérin, ingénieur de la maison L. Duvoir-Leblanc.

TEMPÉRATURE EXTÉRIEURE.	PAVILLON N° 1.			PAVILLON N° 3.			PAVILLON N° 5.		
	Température intérieure de la cheminée.	Excès de la température de la cheminée sur la température extérieure.	Volume d'air total évacué par heure.	Température intérieure de la cheminée.	Excès de la température de la cheminée sur la température extérieure.	Volume d'air total évacué par heure.	Température intérieure de la cheminée.	Excès de la température de la cheminée sur la température extérieure.	Volume d'air total évacué par heure.
18°.3	38°.1	19°.2	7980^{mc}	41°.2	22°.9	6912^{mc}	40°.9	22°.6	9136^{mc}
Volume évacué par heure et par lit.			78^{mc}.23			67^{mc}.76			89^{mc}.57

Volume d'air moyen évacué par heure et par lit. . . . 78^{mc}.52

INFLUENCE DU VENTILATEUR SUR L'ÉVACUATION DE L'AIR VICIÉ.

Cette différence, si considérable entre la ventilation d'hiver et celle d'été, dans les pavillons ventilés par insufflation, vient de ce que pendant l'hiver l'action naturelle de l'excès de la température de l'air vicié évacué sur la température extérieure de l'air a, pour activer l'évacuation, une influence bien plus considérable que le ventilateur.

Des expériences répétées à sept reprises différentes, en décembre 1860 et en janvier 1861, alors que la température dans les salles était de 18° à 20° et celle de l'air extérieur comprise entre — 2° et + 4°, ont en effet montré que la part du ventilateur dans l'évacuation de l'air vicié n'était que d'environ 0,15 du tout, celle de l'aspiration naturelle étant de 0,85[1].

On conçoit dès lors que, l'action de cette dernière cause natu-

Expériences de vérification faites le 31 août par le Conservatoire.

16°.0	37°.0	21°.0	8071^{mc}	39°.0	23°.0	7996^{mc}	36°.0	20°.0	9175^{mc}
Volume d'air évacué par heure et par lit. . . .			79^{mc}.12			78^{mc}.37			89^{mc}.95

Volume d'air moyen évacué par heure et par lit. . . . 82^{mc}.48

Etudes sur la ventilation, 1er volume, p. 468.

Ces résultats comparatifs d'expériences faites sur les pavillons ventilés par insufflation et sur ceux qui le sont par appel, montrent d'une manière évidente la supériorité de ce dernier mode pour assurer en toute saison l'évacuation d'un volume d'air suffisant, pourvu que la température dans la cheminée d'évacuation surpasse de 20° environ celle de l'air extérieur.

Nous ajouterons que les dispositions adoptées par M. L. Duvoir, pour la ventilation par appel, ne sont pas irréprochables et qu'elles seraient susceptibles de plusieurs améliorations importantes et faciles à réaliser, et qui ont été indiquées, dès 1860, à l'administration de l'Assistance publique. A. M.

1. Pour déterminer cette part proportionnelle du ventilateur dans l'évacuation de l'air vicié on a, le 13 et 16 décembre 1860 et le 10, 11 et 14 janvier 1861, observé les volumes d'air évacués par la cheminée générale quand le ventilateur marchait et quand il était arrêté. Dans le premier cas, le résultat obtenu était dû à l'action simultanée de ce ventilateur et de l'aspiration ; dans le second, il ne dépendait que de l'aspiration seule déterminée par l'excès de la température dans la cheminée sur la température extérieure.

Résultats des expériences sur l'influence du ventilateur de l'hôpital Lariboisière sur la ventilation générale du pavillon n° 4.

DATES.	CIRCONSTANCES DE L'EXPÉRIENCE.	VITESSE de l'air en 1".	VOLUME D'AIR éventé en 1".	VOLUME D'AIR éventé en 1 h.	DIFFÉRENCE de volume due au ventilateur.	PART proportionnelle dans l'effet total.		TEMPÉRATURES			Volume d'air de ventilation générale par heure et par lit, avec le ventilateur.
						Ventilateur.	Ventilation due à la chaleur.	extérieure.	dans la cheminée.	dans les salles.	
		m.	m.c.	m.c.	m.c.			0		0	m.c.
13 décem. 1860.	Avec le ventilateur. 70 tours de la machine..............	C 1,20 R 1,29	1,531	5,512	732	0,133	0,867	+ 6	13	18 à 20	52,00
	Sans ventilateur............	C 1,19 R 1,07	1,328	4,780							
15 décem. 1860.	Avec le ventilateur. 72 tours de la machine..............	C 1,33 R 1,25	1,534	5,522	687	0,124	0,876	+ 3 à + 4	12	18 à 20	52,09
	Sans ventilateur.............	C 1,18 R 1,09	1,343	4,835							
10 janvier 1861.	Avec le ventilateur. (74 tours de la machine.)	1,56	1,882	6,768	1,216	0,178	0,822	— 3	9	19	63,85
	Sans ventilateur...	1,23	1,545	5,552							
	Avec le ventilateur.	1,49	1,798	6,473	1,440	0,220	0,730	— 3	9	19	60,94
	Sans ventilateur...	1,16	1,400	5,040							
12 janvier	Avec le ventilateur. (78 tours de la machine.)	1,61	1,943	6,994	1,126	0,161	0,839	— 3	10 à 9	19	65,88
	Sans ventilateur...	1,35	1,629	5,863							
14 janvier	Avec le ventilateur. (60 tours de la machine.)	1,42	1,714	6,170	651	0,106	0,894	— 2	10	19	58,15
	Sans ventilateur...	1,27	1,532	5,519							
	Avec le ventilateur. (68 tours de la machine.)	1,45	1,750	6,300	781	0,124	0,876	— 2	9	19	59,43
	Sans ventilateur...	1,27	1,533	5,519							

NOTA. — Les nombres de tours indiqués sont ceux de la machine à vapeur. Le ventilateur marchait quatre fois plus vite.

1. Dans les expériences des 13 et 15 décembre 1860, pour s'assurer si l'on pouvait se contenter de mesurer la vitesse de l'air au centre de la cheminée, ou s'il fallait l'observer en plusieurs points pour en déduire une valeur moyenne d'une exactitude suffisante, on a fait des observations successives au centre et à une distance de la paroi égale à un quart du rayon. Les résultats particuliers de ces observations sont indiqués à la colonne des vitesses par les lettres C et R.

2. Expériences faites avec le concours de M. Trélat, professeur de constructions civiles au Conservatoire des arts et métiers.

3. Expérience répétée en presence de la commission chargée d'examiner les projets de chauffage et de ventilation pour les nouveaux théâtres de la place du Châtelet.

relle diminuant à mesure que la température de l'air extérieur s'élève, l'effet total doit suivre la même marche.

L'expérience montrant d'ailleurs la très-faible influence de ventilateur sur l'évacuation de l'air, on voit qu'en réalité cette évacuation ne se produit, pour la plus grande partie, que par l'effet de l'aspiration naturelle, et que la plus ou moins grande vitesse donnée au ventilateur ne saurait remédier à l'insuffisance de la ventilation de printemps et d'été.

A l'inverse, dans les pavillons nos 1, 3 et 5, ventilés par aspiration, la disposition des appareils et les proportions qui leur ont été données pouvant permettre en toute saison de maintenir dans la cheminée générale d'évacuation une température qui excède d'une quantité constante de 20° à 25°, par exemple, la température extérieure, la vitesse d'évacuation et, par conséquent, le volume d'air vicié extrait des salles peuvent, en tout temps, rester les mêmes.

C'est ce que confirment complétement les observations faites au printemps et en été[1].

Il résulte donc de là cette première conséquence que les dispositifs qui procèdent par insufflation n'ont sur l'évacuation régulière de l'air vicié qu'une faible influence, et qu'ils ne lui donnent pas en toute saison l'énergie nécessaire.

INFLUENCE DE L'OUVERTURE DES PORTES ET DES FENÊTRES.

Dans le système de l'insufflation, l'appel exercé par la cheminée générale d'évacuation n'ayant souvent qu'une très-faible

Ces résultats obtenus et répétés, en présence de partisans du système de l'insufflation, montrent d'une manière évidente la part considérable de l'aspiration naturelle dans l'évacuation de l'air, et la très-faible influence du ventilateur sur l'effet obtenu.

Or, l'été l'action du ventilateur reste la même que l'hiver, tandis que dans ces pavillons la cheminée d'évacuation n'étant pas chauffée artificiellement, l'excès de sa température intérieure sur celle de l'air extérieur se trouvant très-diminué ou même presque annulé, le concours de la ventilation naturelle est réduit à fort peu de chose, ce qui explique comment, dans les saisons de printemps, d'été et d'automne, l'évacuation de l'air vicié devient tout à fait insuffisante. A. M.

1. *Etudes sur la ventilation*, 1er vol., page 464, pour les expériences où l'excès de température a été de 20° à 25°, et 1er vol., page 468.

énergie, il en résulte qu'au printemps et en été l'ouverture des portes ou des fenêtres permet à l'air nouveau de s'échapper directement par ces orifices, au lieu de se diriger vers les orifices d'évacuation; et dès lors l'air vicié n'est plus extrait des salles avec l'uniformité nécessaire à leur assainissement.

Mais, en outre, il se produit souvent un effet bien plus fâcheux : ce sont des rentrées d'air vicié qui, par suite du mouvement d'entraînement déterminé par le courant d'air nouveau vers les portes ou les fenêtres ouvertes, redescend des conduits d'évacuation des trumeaux, et peut ainsi passer d'une des salles supérieures dans les salles inférieures qui, au lieu d'être assainies, se trouvent de nouveau infectées.

Ces effets ont été constatés de la manière la plus nette dès 1856, au mois d'avril, par MM. E. Trélat et H. Péligot[1], et consignés dans un rapport adressé par eux à l'administration. Ils ont

1. Les expériences de M. E. Trélat et H. Péligot ont donné les résultats comparatifs suivants, le 7 avril 1856. Elles ont été faites sur six orifices, placés deux à deux vis-à-vis l'un de l'autre, sur les faces nord et sud du pavillon n° 4 de l'hôpital Lariboisière.

Volumes d'air évacués par heure par les orifices de la salle du 1er étage.

ORIFICE N° 1.		ORIFICE N° 5.		ORIFICE N° 9.		VOLUME d'air moyen évacué par orifice et par heure.
NORD.	SUD.	NORD.	SUD.	NORD.	SUD.	
Les portes et les fenêtres étant fermées.						
mc. 115.00	mc. 118.00	mc. 112.00	mc. 106.00	mc. 104.00	mc. 122.00	mc. 113.00
La 5e fenêtre nord étant ouverte.						
(*) 52.19	82.94	(*) 99.39	50.05	(*) 77.94	45.49	68.00
La 4e fenêtre nord et la 5e sud étant ouvertes.						
(*) 61.42	33.70	(*) 32.37	55.61	33.37	21.08	39.42
Les 4e et 5e fenêtres de chaque côté étant ouvertes.						
(*) 16.65	(*) 38.30	(*) 62.90	(*) 36.07	16.10	(*) 20.16	31.37
(*) 0.93	22.50	(*) 3.14	14.40	54.40	34.20	20.17

Les signes (*) placés à gauche des volumes d'air évacués indiquent qu'il y a eu souvent des arrêts dans la marche de la ventilation. Les chiffres soulignés indiquent qu'il y a eu non-seulement arrêt, mais refoulement et rentrée d'air vicié venant des autres étages. L'on voit que, sur les six orifices soumis aux expé-

reconnu que l'ouverture d'une ou de deux fenêtres déterminait des arrêts complets dans l'évacuation de l'air vicié dans les conduits, et que celle de quatre fenêtres occasionnait des rentrées d'air vicié par quatre conduits sur six, et des arrêts dans les deux autres.

Il résulte donc de ces expériences que, *dans le système exclusif de l'insufflation, l'ouverture des portes et des fenêtres trouble, de la manière la plus grave, l'évacuation de l'air vicié, et, comme cette ouverture est, dans la belle saison, une jouissance dont on ne peut songer à priver les malades, et même trop souvent une nécessité, les faits précédents constituent un défaut sérieux auquel ce système, tel qu'il a été conçu et exécuté, ne peut échapper.*

A l'inverse, l'observation[1] montre que, dans le système de l'aspiration, l'ouverture des portes et des fenêtres, au lieu de troubler et de diminuer l'évacuation, tend à la régulariser pour tous

riences, il y en a eu quatre ou les deux tiers pour lesquels cet effet s'est produit, quand, sur les seize fenêtres qui existent dans les salles, il y en avait seulement quatre d'ouvertes, ce qui naturellement arrive fréquemment l'été.

Les conséquences que MM. E. Trélat et H. Péligot ont tirées de ces expériences, et qui sont relatées ci-dessus, sont graves, et l'un des partisans les plus persévérants du système de l'insufflation disait, en parlant de ces rentrées d'air vicié : « Si le fait existait réellement, il faudrait renoncer au système, car il est « impossible d'éviter l'ouverture très-fréquente des portes et quelquefois des « fenêtres. »

Or le fait existe, il n'est pas contesté ; et cependant le même observateur n'a pas hésité depuis à persévérer dans l'opinion favorable qu'il avait émise sur le système de l'insufflation et à approuver un autre dispositif analogue, mais bien inférieur à celui de l'hôpital Lariboisière. L'on peut donc s'étonner à bon droit de la préférence que, dans des publications assez récentes, l'administration de l'Assistance publique a cru pouvoir accorder aux dispositifs qui procèdent exclusivement par l'insufflation. Il y a lieu de penser que, mieux éclairée par les discussions qui se sont produites dans le sein du Comité consultatif d'hygiène et du service médical des hôpitaux, cette administration ne persistera pas dans cette opinion. A. M.

1. Les expériences dont il est ici question ont été faites, en 1856, par MM. E. Trélat et H. Péligot, et elles sont consignées dans un rapport adressé à cette époque à l'administration de l'Assistance publique. Elles ont eu pour objet de reconnaître quelle est, dans les systèmes qui procèdent simplement par aspiration, l'influence de l'ouverture des portes et des fenêtres.

Les résultats suivants des expériences faites par un temps de pluie et de grand

les conduits, et augmente parfois le volume de l'air vicié extrait des salles dans une proportion supérieure au double de sa valeur première.

De cette comparaison, il résulte donc que le système de l'aspiration présente, sous les rapports de la régularité, de l'énergie et de la stabilité de l'évacuation de l'air vicié, une supériorité incontestable sur le système exclusif de l'insufflation, tel qu'il est organisé à l'hôpital Lariboisière; cette supériorité ne provient d'ailleurs que de ce que le dispositif adopté pour produire en tous temps une aspiration énergique permet, comme le pres-

vent ont manifesté l'influence de la simple ouverture des portes sur l'activité de l'évacuation de l'air par tous les orifices d'appel d'une même salle, au nombre de neuf sur chaque face.

Volume d'air sortant par heure par les orifices d'évacuation d'une salle du pavillon n° 3, ventilé par appel.

NUMÉROS des ORIFICES.	COTÉ SUD. Volume d'air sortant quand la porte était		COTÉ NORD. Volume d'air sortant quand la porte était	
	FERMÉE.	OUVERTE.	FERMÉE.	OUVERTE.
	mc.	mc.	mc.	mc.
1	115.44	420.65	94.25	430.10
2	56.55	346.50	92.00	318.92
3	29.25	346.00	0.74 (*)	306.00
4	184.08	479.50	139.46	338.30
5	364.20	328.20	286.75	255.00
6	277.00	337.25	388.50	287.30
7	141.00	295.75	239.39	306.00
8	158.00	311.50	108.78	300.90
9	98.30	289.05	96.94	262.48
Moyenne par orifice......	151.53	370.49	149.70	311.66

(*) L'orifice n° 3 du côté nord a évidemment fourni un résultat anormal quand la porte était fermée.

Les conséquences de ces expériences sont évidentes, il est inutile de les indiquer; et l'on voit que l'ouverture des portes diminue considérablement les inégalités qui se produisent dans l'évacuation de l'air par les différents conduits, et qu'en moyenne elle augmente le volume d'air évacué par la cheminée d'appel dans le rapport de 1.00 à 2.26.

L'influence de l'ouverture des fenêtres a une influence analogue, mais moins marquée, parce qu'alors une partie de l'évacuation se fait alors par la partie supé-

crit la théorie, d'obtenir dans la cheminée d'évacuation une température qui surpasse toujours de 20 à 25 degrés celle de l'air extérieur[1].

En hiver, quoique cette différence de température ne soit pas toujours dépassée, le volume d'air évacué s'élève à cent et à cent vingt-cinq mètres cubes par heure et par lit.

Il serait facile de mettre, sous ce rapport, les pavillons nos 2, 4, 6 de l'hôpital Lariboisière[2] dans des conditions aussi favo-

périeure de ces larges bancs. C'est ce que montrent les résultats suivants des expériences des mêmes observateurs :

PAVILLON N° 1.

Volumes d'air évacués par l'orifice n° 2 en une heure.

1. Toutes les portes et les fenêtres fermées. . . .	116 mètres cubes.
2. Une fenêtre n° 2 adjacente ouverte.	169 —
3. Les deux fenêtres adjacentes ouvertes.	170 —
4. Les deux fenêtres en face ouvertes..	169 —
5. Les quatre fenêtres précédentes ouvertes. . . .	163 —
6. Les deux fenêtres n° 4 ouvertes.	162 —
7. Les deux fenêtres du fond de la salle ouvertes.	156 —
8. Toutes les portes et les fenêtres fermées. . . .	118 —

De l'ensemble de ces expériences il résulte donc que l'ouverture accidentelle u permanente des portes ou des fenêtres, loin de troubler l'évacuation de l'air vicié dans le système de l'aspiration, l'active à un degré très-sensible, tandis que l'effet contraire se produit dans le système exclusif de l'insufflation.

Il s'ensuit que dans le jour, quand le temps est chaud, la simple ouverture des portes est un moyen d'activer et même de régulariser la ventilation par appel dans toute l'étendue des salles.

Quant à la ventilation de nuit, par les temps le plus chauds, où il convient cependant de tenir les portes fermées, on l'activerait beaucoup si l'on ménageait dans les salles des carneaux d'introduction de l'air analogues à ceux qui le conduisent aux poêles et qui, débouchant vers le plafond, fourniraient un supplément d'air considérable à la ventilation pour laquelle l'arrivée de l'air par les poêles, dans cette saison, n'est pas suffisante.

Cette amélioration, que nous avions indiquée dès 1860, n'est pas encore introduite, et l'on continue encore à attribuer au système de l'appel les conséquences des dispositions incomplètes adoptées par M. L. Duvoir des défauts que l'on aurait pu faire disparaître. A. M.

1. *Études sur la ventilation*. Expériences d'automne, page 442. Expériences de printemps, page 464. Expériences d'été, page 468.

2. *Études sur la ventilation*, 1er vol., page 462.

rables, pour l'évacuation de l'air vicié, que les pavillons n°s 1, 3 et 5 : il suffirait pour cela, comme votre rapporteur l'avait indiqué, dès l'année 1860, dans le *Rapport de la Commission du chauffage et de la ventilation des nouveaux bâtiments du Palais de Justice*, de disposer à la partie inférieure de la cheminée d'évacuation de ces pavillons un appareil de chauffage à l'eau chaude ou à la vapeur. Mais, quoique cette amélioration facile soit désirable, il ne faut pas perdre de vue qu'elle accroîtrait la dépense, déjà bien considérable, faite par les appareils de ces pavillons : nous aurons d'ailleurs plus tard à revenir sur l'ensemble des perfectionnements à introduire dans les deux groupes de pavillons de cet hôpital.

DES RENTRÉES D'AIR PRODUITES PAR L'ASPIRATION.

L'on reproche, et souvent non sans raison, aux ventilations qui procèdent par aspiration, de déterminer, par la rentrée de l'air, des courants fort désagréables.

Toutes les personnes qui ont assisté aux soirées du château des Tuileries, à celles de l'Hôtel-de-Ville, où l'évacuation de l'air chaud et vicié se fait par les plafonds, à travers des rosaces ménagées au-dessus des lustres, ont dû, en effet, observer l'intensité des courants d'air qui se produisent par les portes pour remplacer l'air vicié par les orifices supérieurs. Des effets analogues et aussi gênants s'observent dans tous les théâtres ventilés par des dispositions semblables.

Mais ces effets désagréables ne proviennent que de l'absence de dispositions convenables pour assurer la rentrée de l'air, de telle façon qu'il afflue le plus loin possible des personnes, avec une faible vitesse et une température peu différente de celle que l'on veut maintenir dans les salles [1].

A ces dispositions, toujours faciles à prendre, lors de la construction des édifices, il faut en joindre d'autres qui consistent à

1. Il convient d'ajouter à ce qui précède qu'un moyen efficace de diminuer encore, pendant l'hiver, l'inconvénient des courants d'air froid produits par l'ouverture des portes consiste à disposer dans l'intervalle des doubles portes une bouche de chaleur qui y maintienne toujours une température un peu supérieure à celle des salles. A. M.

chauffer tous les abords des salles, les vestibules, les escaliers, les antichambres qui y conduisent, à munir les entrées de doubles portes tombant d'elles-mêmes, de façon qu'à chaque ouverture de l'une d'elles, il n'entre dans les salles qu'un petit volume d'air à une température égale ou même un peu supérieure à celle de la salle.

Ce n'est pas ici le lieu d'indiquer les proportions des orifices spéciaux d'accès de l'air, il nous suffira de dire qu'ils doivent être aussi nombreux que possible, et que leur surface totale libre doit être telle que la vitesse de l'air affluant atteigne à peine en moyenne $0^{m},50$ en une seconde s'il se peut.

Outre l'inconvénient de produire des courants d'air, les ventilations par appel, imparfaitement organisées, ont celui d'introduire parfois dans les salles des odeurs désagréables, telles que celles des cuisines, des lieux d'aisance, etc.; mais il est évident que cela ne tient qu'à ce que la ventilation particulière de ces dépendances n'a pas été convenablement assurée. C'est encore là une faute du constructeur et non un défaut du système[1].

L'exemple des amphithéâtres du Conservatoire des Arts et métiers, où ces précautions et ces dispositions ont été adoptées depuis deux ans, et où on n'éprouve l'impression d'aucun courant d'air gênant, quoique, dans l'un d'eux, il circule par fois 18000 mètres cubes d'air par heure, et que les portes y soient fréquemment ouvertes, prouve que l'inconvénient reproché à beaucoup de ventilations par aspiration n'est que la conséquence des mauvaises dispositions adoptées, et qu'il est facile de s'en préserver.

Il convient d'ailleurs d'ajouter, comme l'ont fait plusieurs observateurs, que, dans le système de l'insufflation, ces inconvénients se produisent aussi d'une manière très-sensible, attendu qu'en réalité l'évacuation de l'air vicié ne s'y fait, pour la plus grande partie, que par aspiration.

1. Le moyen le plus sûr d'éviter que les mauvaises odeurs des cuisines ou des lieux d'aisances ne se répandent à l'intérieur des bâtiments, c'est d'y déterminer, soit par des foyers, soit à l'aide de becs de gaz ou autres moyens de chauffage, un appel d'air qui y fasse affluer l'air extérieur et évacue l'air intérieur. Cela ne présente presque jamais de difficulté.

DU SYSTÈME DE VENTILATION PAR INSUFFLATION DU D^r VAN HECKE.

Toutes les conséquences que nous avons déduites de la discussion des nombreuses expériences faites sur les appareils de ventilation par insufflation de l'hôpital Lariboisière[1], appareils bien exécutés dans leur genre, sous la direction d'ingénieurs habiles, sont *à fortiori* applicables à ceux que M. le docteur belge Van Hecke a cherché à introduire en France et qu'il a installés à Paris, à l'hôpital Beaujon, à l'hôpital Necker et au Vésinet, à l'Asile impérial de convalescence.

Les dispositions adoptées par ce constructeur pour l'extraction de l'air vicié sont défectueuses sous plus d'un rapport. Les conduits d'évacuation ne sont presque jamais assez nombreux, il n'y en a souvent qu'un ou deux par salle. Ils sont éloignés les uns des autres, débouchent tantôt au-dessus des toits, tantôt dans l'intérieur de greniers, et sont toujours exposés à l'action des vents qui refoulent dans les salles l'air vicié et même l'air froid extérieur d'une manière tellement incommode qu'il n'est pas rare de voir les orifices de ces conduits bouchés par les sœurs ou par les malades. Les témoignages recueillis par MM. Rayer et Pelouze, ainsi que par votre rapporteur à l'hôpital Necker, et par M. Laval avec le rapporteur, à l'asile du Vésinet, ne laissent aucun doute à cet égard.

Le ventilateur à palettes héliçoïdales adopté par M. le docteur Van Hecke était connu et abandonné depuis longtemps comme défectueux, et des expériences spéciales faites au Conservatoire des arts et métiers ont montré qu'il est inférieur à ceux qui sont en usage à l'hôpital Lariboisière.

Des expériences nombreuses faites par votre rapporteur en présence de M. Laval et du docteur Van Hecke, en janvier 1861, ont montré qu'à l'Asile impérial du Vésinet, l'action du ventilateur n'exerçait, quant à l'évacuation de l'air vicié, qu'une influence tout à fait insensible. En observant, en effet, les volumes d'air évacués par les 42 cheminées de 28 salles du pavillon F de cet hospice, l'on a obtenu des résultats[2] qui peuvent se résumer ainsi qu'il suit :

1. *Annales du Conservatoire*, n° 17, 186.

2. *Etudes sur la ventilation*, par A. Morin, 1er vol., pages 504-505.

Pavillon F. — Aile gauche.

1re Série. — Le ventilateur fonctionnant seul. Volume total évacué en 1″ = 1183 lit. 60 c.

2e Série. — L'aspiration fonctionnant seule. Volume total évacué en 1″ = 1253 lit. 39 c.

Pavillon F. — Aile droite.

1re Série. — Le ventilateur fonctionnant seul. Volume total évacué en 1″ = 1201 lit. 90 c.

2e Série. — L'aspiration fonctionnant seule. Volume total évacué en 1″ = 1137 lit. 54 c.

Des expériences analogues faites en avril et mai 1861 par MM. Leblanc et Ser à l'hôpital Necker[1], dans un pavillon ventilé par le même système, ont montré qu'à cette époque le ventilateur ne contribuait que pour 1/9 ou 1/10 à l'évacuation de l'air vicié, qui n'était ainsi due pour la plus grande partie qu'à l'aspiration naturelle.

CONCLUSION RELATIVE A L'ÉVACUATION DE L'AIR VICIÉ.

De l'ensemble des résultats d'expériences dont la commission a pris connaissance et des discussions auxquelles elle s'est livrée, elle a déduit la conclusion que :

Les divers dispositifs qui procèdent par aspiration, lorsqu'ils sont

1. *Etudes sur la ventilation*, page 494. Expériences de MM. Leblanc et Ser.

Ces expériemnces ont indiqué qu'au printemps, alors que le chauffage était très-modéré et la température extérieure comprise entre 9°.3 et 13°.0, le volume d'air évacué des salles du pavillon ventilé par l'appareil d'insufflation du Dr Van-Hecke, étaient :

Par le concours de l'aspiration naturelle et du ventilateur . . 4195 mètr. cub. par heure ou 23mc.70 par lit.

Par l'action seule de l'aspiration . . . . 2697 —

En tenant compte de la différence des températures extérieures observées aux heures où ces expériences sont faites, le volume d'air évacué par l'action seule de l'aspiration devrait être augmenté dans le rapport de 1.00 à 0.79 et porté à 3415 mètres cubes, de sorte que la part du ventilateur, dans le résultat obtenu lorsqu'il fonctionnait, n'était que de 4195 — 3415 = 780 mètres cubes ou $\frac{780}{4195} = 0.185$ du volume total évacué. A. M.

bien proportionnés, satisfont mieux et plus sûrement aux conditions d'uniformité et de stabilité de l'évacuation de l'air vicié, que ceux qui procèdent exclusivement par insufflation de l'air neuf.

INTRODUCTION DE L'AIR NOUVEAU.

Cette première et importante partie de la question de la ventilation étant résolue, il restait à examiner l'effet des différents systèmes au point de vue de l'introduction de l'air nouveau.

Dans celui de l'aspiration, cette entrée d'air est naturellement déterminée par l'excès de la pression de l'air extérieur sur celle de l'air intérieur que cette aspiration produit. Mais des dispositions et des proportions convenables sont nécessaires pour que l'appel, ainsi créé, soit suffisant et ne détermine pas de courants incommodes, ainsi que nous l'avons déjà dit.

La plupart des constructeurs qui ont établi des appareils de ventilation par appel ne se sont pas assez préoccupés des proportions qu'il est nécessaire d'adopter. Pour la saison d'hiver, ils ont pensé que l'activité donnée à l'introduction par la chaleur des poêles à eau ou à vapeur, à travers lesquels l'air nouveau pénétrait, serait assez grande pour assurer l'introduction de l'air en volume suffisant. Cela n'est à peu près vrai que pour cette saison, et l'expérience montre qu'il en est en effet ainsi à l'hôpital Lariboisière, par exemple, où votre rapporteur a constaté, le 10 et le 11 janvier 1861, que[1], par des températures extérieures de — 5° et de — 2°, les poêles à eau chaude du pavillon n° 3, ventilé par appel, introduisaient dans les salles :

ETAGES.	10 JANVIER.	11 JANVIER.
	mètres cubes.	mètres cubes.
Au rez-de-chaussée	2122	2005
Au premier étage	1911	1751
Au deuxième étage	2097	2130
Total	6130	5886
Moyenne	6008 mètres cubes.	

1. *Etudes sur la ventilation*, par A. Morin, 1er vol., pages 450 et suivantes.

Il y a trente-deux lits dans chaque salle, ou quatre-vingt-seize en tout pour les trois salles. Par conséquent, le volume d'air introduit les 10 et 11 janvier 1861 était, en moyenne, de $62^{mc}.58$ par heure et par lit.

Dans ces expériences, on a remarqué des différences considérables entre les volumes fournis par les différents poêles d'une même salle, et, comme ils ont tous les mêmes proportions, cela ne peut tenir qu'à quelque défaut dans le règlement des passages de l'air, ou à des obstructions accidentelles des conduits, ce qui devrait être vérifié de temps en temps[1]. Quoi qu'il en soit, l'on voit qu'abstraction faite de plusieurs dispositions défectueuses des appareils, ils peuvent, l'hiver, fournir un volume d'air de 60 mètres cubes au moins par heure et par lit, à une température modérée, qui varie de 30° à 35° environ.

Cet air chaud s'élève directement vers le plafond, comme on peut s'en assurer à l'aide de ballons légers; il s'étale en nappes horizontales, redescend et vient gagner les orifices d'appel placés entre les lits, produisant ainsi un renouvellement aussi uniforme que possible de l'air dans toute la salle. Comme il entre, en outre, une certaine quantité d'air par les joints des fenêtres et par ceux des portes, il en résulte évidemment que, même avec les proportions insuffisantes, selon nous, adoptées par le constructeur, la ventilation d'hiver est assurée quant à la rentrée de l'air nouveau aussi bien que pour l'évacuation.

Mais il ne faut pas perdre de vue que, dans cette saison, si l'introduction a lieu par les poêles plutôt que par les joints des portes et des fenêtres, c'est l'effet de l'échauffement de ces poêles qui y produit une aspiration partielle plus énergique encore que l'aspiration générale. Or, dès que la saison permet de diminuer l'intensité du chauffage par suite de l'élévation de la température extérieure, le volume d'air ainsi aspiré, qui est, comme on le sait, proportionnel à la racine carrée de l'excès de la tem-

1. Cette observation sur les défauts particuliers des conduits qui amènent l'air à certains poêles, ainsi que sur les inégalités des effets observés dans des pavillons où tout paraît, au contraire, semblable, a été faite dès 1860, et la nécessité d'y remédier par des modifications faciles, mais nécessaires, avait été indiquée. Jusqu'ici l'on ne s'en est pas occupé, et les partisans des appareils d'insufflation ont continué à attribuer au principe de l'aspiration des effets qui ne sont que le résultat de défauts de proportion ou d'entretien des appareils établis. A. M.

pérature dans les conduits du poêle sur celle de l'air extérieur, doit diminuer aussi, et, dès lors, les mêmes conduits n'offrent plus une section assez grande pour donner passage au volume d'air voulu.

C'est ce que montrent les expériences faites par plusieurs observateurs au printemps sur les mêmes appareils et, en particulier, celles de MM. E. Trélat et H. Péligot, faites en avril 1856[1], et celles de M. Grassi.

Ces observateurs en ont conclu, d'une manière générale, que le système de l'aspiration ne pouvait pas assurer convenablement l'introduction de l'air. Mais, si cela est vrai pour les appareils établis par M. L. Duvoir à l'hôpital Lariboisière, ce défaut ne tient qu'à l'insuffisance des proportions des passages et non pas au système lui-même. On en trouve la preuve dans les expériences de M. Trélat; car on y voit manifestée une très-grande irrégularité dans les volumes fournis, le 9 avril 1856, par des poêles des mêmes salles, qui, disposés d'une manière en apparence identique, ont donné, les uns $562^{mc}.90$, — $530^{mc}.00$, — $611^{mc}.10$, — $498^{mc}.00$, — $567^{mc}.00$, — $442^{mc}.00$ par heure, et les autres seulement $176^{mc}.00$, — $220^{mc}.00$, — $96^{mc}.60$, — $112^{mc}.90$, — $137^{mc}.50$, etc. Ces différences indiquent des défauts de proportion, des obstructions partielles, qui ne sauraient être imputés au principe même du système.

Si tous les poêles avaient des conduits de prise d'air suffisants, aussi libres et aussi bien disposés que les premiers, dont nous venons d'indiquer le produit en air nouveau, le volume d'air introduit pourrait même, au printemps ou à l'automne, s'élever à 60 et 70 mètres cubes par heure et par lit.

Mais, dans l'été, il en serait sans doute autrement. Or, rien ne s'oppose à ce que, d'une part, on emploie des poêles présentant des passages plus larges et d'un accès plus facile, et, de l'autre, qu'on ménage des orifices auxiliaires de prise d'air pour cette saison. Votre rapporteur avait indiqué, dès 1860, ce genre d'amélioration facile à réaliser, dans le *Rapport sur le chauffage et la ventilation des nouveaux bâtiments du Palais de Justice*, page 80. On lit, en effet, dans ce rapport : « Bien que la ventilation de-

1. *Etudes sur la ventilation*, par A. Morin. Expériences de MM. E. Trélat et H. Péligot, 1er vol., page 448.

« mandée par les conditions du marché (60 mètres par heure et « par lit) soit obtenue et même dépassée avec ces appareils (de « M. L. Duvoir), et que la ventilation de jour, pendant l'été, « puisse être doublée par la seule ouverture des portes ou de « quelques fenêtres, nous pensons que, pour les nuits d'été sur- « tout, une ventilation plus abondante est nécessaire. Mais « comme pendant la nuit il ne convient pas d'ouvrir les portes « et encore moins les fenêtres, il faut ménager des carnaux spé- « ciaux d'arrivée de l'air extérieur qui, à cette époque de l'année, « n'aurait pas besoin d'être chauffé. »

Si nous nous sommes étendus longuement sur les résultats observés dans les pavillons de l'hôpital Lariboisière, c'est qu'ils ont servi de texte aux critiques qui ont été adressées au principe de la ventilation par appel, et que, de ces résultats particuliers, l'on a conclu, fort à tort selon nous, que ce système n'assurait pas convenablement la rentrée de l'air nouveau, tandis que l'ensemble de ces mêmes observations devait porter seulement à conclure que certaines proportions des appareils, certaines dispositions étaient insuffisantes ou défectueuses, et qu'en les modifiant on arriverait à des résultats satisfaisants en tous temps.

L'exemple des dispositions adoptées avec succès au Conservatoire des arts et métiers prouve que l'aspiration exercée pour l'extraction de l'air vicié suffit pour assurer, d'une manière convenable, la rentrée de l'air nouveau, pourvu que l'on ménage, pour cette rentrée, des orifices d'un accès facile, d'une étendue libre assez grande pour que la vitesse d'arrivée n'excède pas, s'il se peut, $0^m.50$ en 1″ et situés le plus loin possible des personnes.

Nous avons vu déjà plus haut quels sont les moyens d'éviter ou d'atténuer les courants d'air résultant des ouvertures des portes, et nous nous bornerons ici à dire que, plus les orifices réguliers d'admission de l'air seront nombreux, grands et uniformément répartis, plus ces courants seront faibles et insensibles.

Nous ne parlerons pas de quelques autres dispositifs adoptés dans les hôpitaux ou dans des établissements ventilés par appel, parce que nous nous occupons surtout, dans ce rapport, de poser les principes qui doivent guider les ingénieurs dans l'étude

de leurs projets, et nous allons examiner les résultats fournis par les appareils d'insufflation sous le rapport de l'introduction de l'air nouveau.

INTRODUCTION DE L'AIR NOUVEAU PAR LES APPAREILS D'INSUFFLATION.

Nous prendrons encore pour terme de comparaison l'installation faite d'un système de ce genre à l'hôpital Lariboisière par d'habiles ingénieurs, qui n'ont rien négligé pour en assurer le succès.

On sait que, dans les pavillons n°s 2, 4 et 6 de cet hôpital, l'air nouveau doit être refoulé dans les salles à l'aide d'un ventilateur placé dans les caves et mis en mouvement par une machine à vapeur de la force de sept à huit chevaux.

PRISE D'AIR A UNE CERTAINE HAUTEUR AU-DESSUS DU SOL.

Cet air, aspiré par le ventilateur, afflue dans la chambre, qui contient cet appareil ainsi que la machine à vapeur, par une cheminée ménagée dans le clocher de la chapelle, et est ainsi puisé à une assez grande hauteur au-dessus du sol.

L'on espérait, par cette disposition, l'obtenir plus pur, et l'on se flattait même que l'été il serait plus frais que de l'air pris à une moindre hauteur. Mais, d'une part, il est difficile dans l'état actuel d'empêcher qu'une partie de l'air aspiré par le ventilateur ne lui soit fournie par les pièces voisines de la chambre qui le contient, même quand les portes sont fermées et à plus forte raison quand elles sont ouvertes. C'est ce qu'ont montré les expériences de M. Grassi [1], aussi bien que celles de MM. E. Trélat et H. Péligot [2]. Le premier a trouvé que, quand toutes les portes sont fermées, le rapport du volume d'air fourni au ventilateur par la cheminée d'appel au volume d'air total

1. *Etudes sur la ventilation*, par A. Morin, 1er vol., pages 359 et suivantes.

2. *Etudes sur la ventilation*, pages 361 et suivantes.

M. Grassi, dans les *Annales d'hygiène*, tome VI, page 221, résume ainsi qu'il suit les résultats de ses observations :

« Toutes les portes et les fenêtres de la chambre des machines étant fermées, le volume de l'air qui passe par le tuyau porte-vent ou artère principale étant repré-

débité par l'appareil n'était que de 0,562. M. E. Trélat a obtenu, pour le même rapport, 0,63. La proportion devient beaucoup plus faible et descend à 0,23 et à 0,34 quand il y a des portes ouvertes, ce qui arrive nécessairement assez souvent.

Par conséquent, l'air aspiré par la cheminée de prise est toujours, dans le ventilateur, mélangé avec une proportion plus ou

senté par 1.00, celui qui arrive par la cheminée d'appel est 0.562, celui qui arrive par les ouvertures accidentelles ou venant des caves est 0.438.

« La porte n° 1 étant seule ouverte, le volume qui passe par la cheminée n'est plus que 0.229, et celui qui vient des caves est 0.771 du volume total. »

L'auteur en conclut que tout l'air qui circule dans le tuyau porte-vent et qui est envoyé aux salles n'est pas pris intégralement à la partie supérieure du clocher et que près de la moitié est puisée directement dans les caves en se plaçant dans les circonstances les plus favorables, c'est-à-dire quand toutes les portes sont fermées.

Par des observations analogues, MM. E. Trélat et H. Péligot ont trouvé des résultats qui les ont conduits aux conclusions suivantes :

1° Toutes les portes et les fenêtres étant fermées, l'air qui arrive par la cheminée est les 0.63 de celui qui est envoyé par le ventilateur dans le conduit principal ; l'air fourni par les ouvertures accidentelles en est les 0.37.

2° La porte n° 1 des chaudières étant ouverte, l'air qui arrive par la cheminée est les. 0.34

L'air qui est fourni par les ouvertures accidentelles est les. 0.66

Du tout. 1.00

3° La porte de la communauté n° 2 étant ouverte, l'air qui arrive par la cheminée est les. 0.43

L'air fourni par les ouvertures accidentelles est les. 0.57

Du tout. 1.00

4° Les deux portes étant ouvertes, l'air qui arrive par la cheminée est les. 0.245

Et celui qui afflue par les ouvertures accidentelles est les. 0.755

Du tout. 1.000

L'on est parvenu, dans ces derniers temps, à éviter l'introduction de l'air des caves dans le ventilateur en établissant de la base de la cheminée aux orifices centraux de cet appareil un conduit direct qui interdit toute communication avec l'air de la chambre des machines. Cette disposition assez difficile à réaliser pourra en effet éviter l'inconvénient signalé, mais elle aura pour conséquence d'augmenter un peu la consommation de force motrice, et ne fera pas disparaître l'inconvénient grave pendant l'été et inhérent à l'emploi des ventilateurs d'augmenter la température de l'air, et dont il sera parlé dans une note suivante. A. M.

moins grande d'air moins pur venant des caves et de la chambre des machines.

D'une autre part, l'été, cet air puisé à 25 mètres environ au-dessus du sol, loin d'être, comme on l'a prétendu, plus frais que celui qui serait pris à quelques mètres seulement, est, au contraire, plus chaud; il s'échauffe encore nécessairement en passant dans la chambre des machines, et par le ventilateur[1]. Ce dernier résultat a été constaté, le 14 avril 1856, par MM. E. Trélat et H. Péligot, qui ont trouvé que, l'air étant à la base de la cheminée du clocher à la température de 14°, celui qui sortait du ventilateur était à 19°.

De même, le 22 août 1861, nous avons observé que, la température extérieure au nord et près du sol, à côté de la chapelle, étant de 21°,50, celle de l'air affluent par la cheminée était de 22°, et celle de l'air affluent dans les salles, de 24°.

Ainsi, non-seulement l'air fourni par cette prise d'air élevée, après avoir passé par le ventilateur, est toujours mélangé d'une proportion considérable d'air puisé dans les caves fréquentées par des ouvriers, mais encore, l'été, il est plus chaud que celui qui serait pris à quelques mètres au-dessus du sol[2].

1. *Etudes sur la ventilation*, par A. Morin, 1er vol., page 147.

M. Becquerel père, dans ses recherches récentes faites avec le thermomètre électrique, a obtenu les résultats suivants :

MOIS DE 1860-1861.	TEMPÉRATURE MOYENNE DE L'AIR		
	au nord à l'abri de la radiation solaire.	à 16m au-dessus du sol à la radiation solaire.	à 21m au-dessus du sol à la surface d'un gros arbre.
Juin, — Juillet, — Août.	17°.71	17°.85	17°.97
Septembre, — Octobre, — Novembre.	11 .14	12 .02	12 .18
Décembre, — Janvier, — Février. . .	3 .26	3 .45	3 .66

Des observations directes, faites le 22 août, à 4 heures 30 minutes de l'après-midi, ont indiqué les températures suivantes, à l'hôpital même de Lariboisière :

A l'extérieur, au nord, près de la chapelle.	21°.50
Sous les voûtes du sommet de la tour.	22°.00
Au bas de la cheminée à son débouché.	22°.00
A l'arrivée de l'air dans les salles.	24°.00

2. Mais outre l'erreur de physique commise au sujet des prises d'air à une

Les avantages attribués à ce mode de prise d'air, que l'on croyait exclusivement réalisable par l'emploi d'appareils mécaniques d'insufflation, ne sont donc pas aussi complétement obtenus qu'on le pensait; mais il convient, en outre, d'ajouter que le système de ventilation par appel permet tout aussi bien de puiser l'air nouveau dans l'atmosphère à telle hauteur qu'on le désire, et comme cet air peut alors être admis dans des caves complétement closes, où personne n'a besoin de pénétrer, il s'ensuit qu'il serait à la fois plus pur et moins échauffé que dans le système où l'on a recours à des appareils mécaniques.

L'exemple des mines de houille, déjà cité, où l'air descend, par l'action de l'appel, à des profondeurs de 300 à 400 mètres, celui de l'hôpital de Guy, à Londres, où l'air est puisé dans l'atmosphère à 29m.00 au-dessus du sol, prouvent que le système de l'aspiration peut aussi jouir de la même facilité.

Nous devons ajouter que, si les prises d'air au-dessus du sol

certaine hauteur par les partisans de l'insufflation, ils en ont fait une autre plus grave au point de vue purement mécanique. Il est, en effet, bien reconnu que le passage seul de l'air, à travers un ventilateur en marche, suffit pour augmenter notablement sa température.

Le fait a été constaté, sans explication et abstraction de toute considération scientifique, par MM. E. Trélat et H. Péligot, qui ont observé, le 14 août 1856, les températures suivantes, à l'hôpital Lariboisière :

Près du sol et à l'ombre.	14°
A la base du clocher.	14°
A la sortie du ventilateur.	19°

Dans des expériences récentes faites sur un ventilateur qui produisait dans l'air une augmentation de pression, mesurée par une colonne de 0m.05 d'eau, l'élévation de température de l'air a été de 14°.

L'échauffement de l'air, à son passage par le ventilateur, tient, dans l'hôpital Lariboisière, à deux causes : La première est la présence de la machine à vapeur motrice dans la même pièce que le ventilateur; on pourrait l'éviter dans d'autres installations en isolant ces deux appareils; la seconde, qui se produirait partout, est la compression déterminée par le ventilateur lui-même sur l'air qu'il refoule et la transformation en chaleur du travail moteur nécessaire à cet effet. Ces effets sont inévitables et d'autant plus sensibles que le ventilateur marche plus vite et augmente davantage la pression de l'air. Cela constitue pour la saison d'été un inconvénient grave du système de la ventilation par insufflation. Les partisans de ce système sont complétement en désaccord en cela avec le principe de la transformation du travail en chaleur. A. M.

n'ont pas tous les avantages qu'on leur a attribués, elles n'en sont pas moins très-convenables dans beaucoup de cas, parce qu'elles sont à l'abri des émanations qui peuvent se produire à la surface du sol ou dans les parties inférieures des bâtiments, par accident, par négligence ou par malveillance.

DU VOLUME D'AIR NOUVEAU FOURNI DANS LES SALLES.

L'action d'un ventilateur énergique bien établi, comme ceux qui existent à l'hôpital Lariboisière, est certainement un moyen de faire arriver dans un lieu déterminé un volume d'air parfois considérable. Dans les galeries de mines, dans le percement des tunnels, où il n'est pas toujours possible d'établir une circulation naturelle de l'air, ces appareils peuvent être d'un grand secours.

Mais il faut éviter de se faire illusion sur l'effet des appareils de ce genre et des autres machines soufflantes, et surtout il ne faut pas admettre, comme l'ont fait, dans ces derniers temps, quelques ingénieurs qui se sont occupés de la question de ventilation, que le volume d'air refoulé à l'origine des conduits arrive nécessairement en entier dans les salles. L'existence inévitable de joints nombreux, et surtout la porosité des maçonneries permettent à l'air, légèrement comprimé dans les conduits, de s'échapper à l'extérieur dans une proportion d'autant plus considérable que les conduits sont plus longs, et il arrive même parfois qu'il n'en parvient presque point à leur extrémité. L'exemple ancien d'une forge établie, à la fin du siècle dernier, par le célèbre Wilkinson, et cité par votre rapporteur, en est une preuve. L'impossibilité de maintenir la pression produite par des machines soufflantes puissantes dans des régulateurs en maçonnerie faits avec le plus grand soin et même dans des récipients en métal, les expériences récentes par lesquelles M. H. Deville a montré que les tubes en biscuit de porcelaine, que les métaux mêmes sont perméables aux gaz, tous ces exemples, enfin, prouvent que, dans les conduits destinés à laisser circuler de l'air sous une certaine pression, il se fait nécessairement des pertes plus ou moins considérables.

Les ingénieurs qui ont admis que tout le volume fourni par les ventilateurs de l'hôpital Lariboisière arrivait nécessairement

dans les salles, et qui ont été ainsi conduits à estimer à 90, à 100 mètres cubes et même plus haut le volume d'air nouveau introduit dans ces salles par heure et par lit, sont donc tombés dans une erreur grave.

Les observations directes faites au débouché des poêles leur montraient cependant qu'entre le volume fourni par le ventilateur et celui qui arrivait réellement par ces poêles il y avait une différence, un déchet notable, qui réduisait, pendant l'hiver et au printemps, le volume d'air nouveau réellement admis à 60 ou 70 mètres au plus par heure et par lit, quand la machine marchait à 70 ou 80 tours par minute.

Mais il ne faut pas oublier que, pendant la saison du chauffage, l'élévation de la température d'une partie des conduits et surtout celle des poêles que traverse l'air avant de pénétrer dans les salles, contribue, dans les pavillons 2, 4, 6, ventilés par insufflation, comme dans les pavillons 1, 3, 5, ventilés par appel, à déterminer l'introduction de l'air, et concourt, avec le ventilateur, à l'effet obtenu.

Des expériences spéciales faites par votre rapporteur, et d'autres dues à M. l'ingénieur de l'Assistance publique pour reconnaître quelle était en réalité, dans les effets produits, la part du ventilateur et celle de l'aspiration déterminée par la chaleur des poêles, ont conduit aux résultats consignés dans le tableau suivant, que nous reproduisons ici, parce qu'ils se rapportent à l'un des points les plus controversés de la question.

Résultats des Expériences comparatives faites pour déterminer la part proportionnelle du ventilateur et celle de l'aspiration dans l'admission de l'air nouveau par les poêles des pavillons 2-4-6 de l'hôpital Lariboisière.

DATES.	TEMPÉRATURES extérieure.	TEMPÉRATURES des salles.	TEMPÉRATURES de l'air affluent.	EXCÈS de la température de l'air affluent sur celle de l'air extérieur.	MODE d'observation.	CONDITIONS de l'expérience.	VOLUME d'air introduit par heure.	PART PROPORTIONNELLE du ventilateur.	PART PROPORTIONNELLE de l'aspiration.	LIEU des observations.
				Expériences du général Morin.			mèt. c.			
10 janvier 1861.	»	»	»	»	Avec un tuyau placé sur le poêle.	Machine en marche, 74 tours.	695	0,414	0,59	Pavillon n° 4. Poêle n° 1. Premier étage.
						— Machine arrêtée.	407			
11 janvier 1861.	— 5°	19°	43°	18°	*Id.*	Machine en marche, 70 tours.	568	0,34	0,66	
						— Machine arrêtée.	378			
5 janvier 1864.	— 5,5	18,5	41 49	46,5 54,5	Dans les conduits du poêle.	Machine en marche, 89 tours.	641	0,42	0,58	
						— Machine arrêtée.	369			
5 janvier 1864.	— 5,5	18,5	41 49	46,5 54,5	Avec un tuyau placé sur le poêle.	Machine en marche, 89 tours.	720	0,48	0,52	
						— Machine arrêtée.	371			
				Expérience de M. l'ingénieur de l'Assistance publique.						
15 décembre 1864.	+ 5°,0	18°,0	»	»	Avec un tuyau placé sur les poêles.	Machine en marche, 85 tours.	5047	0,54	0,46	Tous les poêles du pavillon.
						— Machine arrêtée.	2336			

On fera remarquer que, dans les expériences exécutées le 15 décembre 1863 et le 5 janvier 1864, la machine marchait à des vitesses comprises entre 85 et 89 tours en 1', tandis que, dans celles de janvier 1861, la vitesse n'était que de 70 à 74 tours.

D'une autre part, le 15 décembre 1863, lorsque M. l'ingénieur de l'Assistance publique a opéré, la température extérieure était supérieure à 5° et la vapeur ne circulait dans aucun des poêles des salles, ce qui tendait évidemment à diminuer notablement les effets de l'aspiration.

Malgré ces deux circonstances réunies, qui, dans l'expérience de M. l'ingénieur de l'Assistance publique, concouraient à diminuer l'influence de l'aspiration, sa part proportionnelle, dans le volume d'air total introduit, ne s'en est pas moins élevée à 0,46.

Ce qui prouve d'ailleurs que, dans la saison froide, l'aspiration a une influence notable sur l'introduction de l'air par les poêles de ce système de ventilation, c'est qu'au mois de mars et d'avril, par une température extérieure de 14°, et, par conséquent, par un chauffage très-modéré ou peut-être nul, lorsque la machine marchait à 63 ou 70 tours en 1', le volume d'air fourni par les poêles n'était plus que de $50^{mc},59$ à $41^{mc},75$ par heure et par lit (expériences inédites de MM. Leblanc et Ser, 28 mars et 16 avril 1861), et que, le 20 avril, il s'est abaissé à $40^{mc},000$, parce que, dans ces circonstances, l'effet de l'aspiration était considérablement diminué par la cessation du chauffage des poêles[1].

1. *Remarque sur le mode d'observation à suivre pour déterminer le volume d'air fourni par des orifices ou des bouches de poêle.* — Quelques observateurs, peu familiarisés avec les circonstances du mouvement des fluides pour déterminer les volumes d'air introduits dans des locaux ventilés, se sont contentés de présenter, au-dessus des grilles que cet air traverse, un anémomètre, dont les indications, plus ou moins variables selon la position où il était placé, leur servait à déterminer une vitesse qu'ils prenaient pour celle de l'écoulement. Cette méthode est complétement erronée et ne peut conduire qu'à des appréciations fausses. Pour obtenir aussi exactement que possible la vitesse et le volume de l'air introduit, il convient de placer au-dessus ou au-devant des orifices d'arrivée un tuyau à contours continus, terminé par une partie cylindrique de $0^{m},60$ à $0^{m},70$ de longueur, présentant une section de passage au moins égale en superficie à

Tous ces faits justifient donc cette conclusion parfaitement conforme aux principes de la science, que plus la température est basse et exige un chauffage actif des poêles, plus l'aspiration produite par la différence des températures contribue à l'introduction de l'air par les poêles des salles; et qu'à l'inverse, dans la belle saison, pour obtenir l'introduction d'un même volume d'air, il faut accélérer d'autant plus la vitesse du ventilateur qu'il fait plus chaud à l'extérieur, ce qui conduit à une dépense plus considérable, à laquelle le résultat obtenu n'est d'ailleurs pas proportionnel[1].

CONCLUSIONS RELATIVES A L'INTRODUCTION DE L'AIR NOUVEAU DANS LES SALLES.

Si l'on remarque que, dans les pavillons dont il est actuellement question, l'action cependant si manifeste de l'aspiration ne se produit qu'en faisant circuler l'air dans de longs conduits, qui seraient en très-grande partie supprimés si la ventilation se faisait simplement par appel, l'on en conclura avec votre Commission que : *l'introduction de l'air neuf en quantité déterminée et la prise de cet air à telle hauteur qu'on le juge convenable, peuvent, au moyen de bonnes dispositions, être aussi bien assurées par les appareils qui procèdent par aspiration que par les moyens mécaniques.*

OBSERVATIONS RELATIVES AUX APPAREILS DU DOCTEUR VAN HECKE.

Cette conclusion, déduite d'observations et d'expériences nombreuses faites sur les appareils d'insufflation les mieux com-

l'air libre de la grille. On place l'anémomètre dans le tuyau cylindrique à $0^m,10$ ou $0^m,15$ de son extrémité, et l'on y observe la vitesse moyenne de l'air à l'aide de cet instrument. A. M.

1. Nous ne possédons aucune expérience sur les volumes d'air fourni pendant l'été par les poêles des appareils ventilateurs par insufflation. La raison en est que dans cette saison l'on ouvre les fenêtres pendant le jour, ce qui suffit largement. Mais il ne devrait pas en être de même pendant la nuit, et cependant c'est ce qui arrive trop souvent par nécessité et malgré les ordres contraires. Je m'en suis assuré personnellement. Les grandes portes des salles communiquant avec les escaliers sont d'ailleurs ouvertes d'une manière permanente dans cette saison, et comme l'aspiration agit fort peu sur l'évacuation, la marche de la ventilation est alors complétement troublée. A. M.

binés qui aient été construits, est *a fortiori* plus exacte en ce qui concerne ceux que le docteur Van Hecke a établis à l'hôpital Necker et à l'Asile impérial du Vésinet.

Si les expériences dont nous avons rapporté plus haut les résultats généraux ont montré que, dans ce dernier établissement, l'action du ventilateur sur l'évacuation de l'air vicié est sensiblement nulle, il en est encore à peu près de même pour l'introduction de l'air neuf.

En effet, des expériences spéciales, exécutées le 19 janvier 1861 [1], ont fait voir que le volume d'air total introduit dans la

1. *Études sur la ventilation*, par A. Morin, 1er vol., p. 518.

Expériences faites le 19 janvier 1861, à l'Asile impérial du Vésinet, sur les volumes d'air introduits dans les chambres du calorifère.

Désignation des orifices.	Températures de l'air à l'entrée.	Dimensions des orifices.	Deuxième série. Appel seul. Observateur.	Tours de l'anémomètre en 1'.	Vitesse en 1''.	Volume d'air introduit en 1''.	Troisième série. Ventilateur et appel. Observateur.	Tours de l'anémomètre en 1'.	Vitesse en 1''.	Volume d'air introduit en 1''.
	°	m.q.			m.	m.c.			m.	m.c.
Orifices latéral.	9°,0	0,485×0,64=0,314	V	910	1,66	0,5153	V	595	1,21	0,3735
Orifices latéral.	9°,0	0,50 ×0,60=0,300	V	900	1,65	0 4950	V	618	1,24	0,3720
Orifices du ventilateur.	9°,0	0,50 ×0,60=0,300	L	226	0,47	0,1441	L	718	1,19	0,3570
Orifices du ventilateur.	9°,0	0,50 ×0,60=0,300	L	250	0,50	0,1500	L	924	1,50	0,4550
Volumes totaux.						1,3044				1,5545

Examen des résultats consignés dans ce tableau. — La valeur des volumes totaux d'air introduits dans la chambre à air montre d'abord que, pour l'introduction de l'air dans la chambre du calorifère, le ventilateur n'a guère plus d'influence que pour l'ensemble de la ventilation, puisque l'aspiration seule, même dans les conditions très-défavorables dans lesquelles elle agissait en partie, a produit un volume d'air de 1mc,3044 qui est les 0,84 du volume introduit par l'action simultanée du ventilateur et de l'appel, et le résultat aurait encore été plus favorable à l'action de l'appel, si les orifices latéraux avaient été suffisamment grands pour dispenser d'en laisser arriver par les conduits du ventilateur.

C'est ce qui est rendu évident dans la deuxième série d'expériences faites avec l'appel seul par la différence des volumes introduits par les orifices latéraux qui ont été de 0mc,5153 et 0mc,4950; tandis que ceux qui sont passés par les orifices venant du ventilateur n'ont été que de 0mc,1441 et 0mc,1500.

Rapport du volume d'air introduit dans la chambre à air au volume total évacué

chambre à air du calorifère du pavillon F était, en une seconde :

Par l'action seule de l'appel, égal à. . . . . 1^{mc},304

Par l'action combinée de l'appel et du ventilateur. 1^{mc},554;
ainsi l'action seule de l'appel, malgré les conditions défavorables dans lesquelles elle agissait, suffisait pour produire les 0,84 du volume total dû à l'action simultanée des deux causes.

Des résultats analogues ont été constatés par MM. Leblanc et Ser[1], en avril et en mai, à l'hôpital Necker, par une température de 8 à 12°, qui dispensait de chauffer les calorifères. Le volume d'air nouveau introduit et celui de l'air vicié évacué ne se sont élevés qu'à 36 ou 40 mètres cubes par heure et par lit, et le ventilateur n'y contribuait que pour 4^{mc},40 ou pour 1/9 environ.

La disposition des orifices d'arrivée de l'air chaud est, en outre, très-défectueuse dans ce pavillon. Ils sont placés à fleur du sol, et, l'hiver, les courants d'air chaud qu'ils amènent à une température trop élevée sont très-gênants pour les malades voisins.

DÉPENSES FAITES PAR LES DIVERS SYSTÈMES DE VENTILATION.

Au point de vue de la dépense d'établissement et de la dépense journalière pour le service et pour l'entretien, la compa-

par les cheminées.— Le volume total introduit par l'appel seul a été de 1^{mc},3044 en 1″, tandis que, dans les mêmes conditions de température intérieure et extérieure, le volume d'air évacué par les cheminées avait été trouvé égal à 2^{mc},3909; le rapport de ces deux volumes égal à

$$\frac{1.3044}{2.3909} = 0.546$$

montre que, dans le pavillon où les expériences ont été faites, malgré l'attention que l'on a toujours eue de veiller à la fermeture des portes et des fenêtres, l'air introduit par la circulation naturelle s'est élevé à

$$2^{mc},3909 - 1^{mc},3044 = 1^{mc},0855$$

par seconde, ou à

$$\frac{1.0855}{2.3909} = 0.455$$

du volume d'air total évacué par les cheminées. Ce résultat, qui montre sous un autre point de vue toute l'influence de la ventilation produite par les différences de température, est d'ailleurs d'accord avec ce que nous avons observé à l'hôpital Lariboisière sur les pavillons ventilés par appel. A. M.

1. *Études sur la ventilation*, t. Ier, p. 492 et suiv.

raison entre les frais occasionnés à l'hôpital Lariboisière par les deux systèmes mis en présence, est encore à l'avantage de celui qui procède par aspiration.

Les dépenses de premier établissement se sont élevées dans cet hôpital aux chiffres suivants :

Ventilation par insufflation, par lit . . . . 808 fr. 00
Ventilation par aspiration, par lit. . . . . 480 fr. 00

L'examen des données recueillies par divers observateurs et de celles que l'administration a fait connaître, en ce qui concerne les dépenses journalières comparées au volume d'air vicié réellement évacué, conduit aux appréciations moyennes suivantes :

APPAREILS EMPLOYÉS.	PRIX DE LA VENTILATION ANNUELLE à raison d'un mètre cube par heure, intérêts et amortissement du capital	
	compris.	non compris.
Chauffage par la vapeur et l'eau chaude, ventilation par insufflation.	2 fr. 43	1 fr. 30
Chauffage par circulation d'eau chaude, ventilation par appel.	1 fr. 43	0 fr. 79

Les chiffres précédents paraîtront sans doute excessifs et seraient certainement susceptibles de faire hésiter plus d'une administration municipale, si l'on n'ajoutait que, par suite de la très-fâcheuse habitude que l'on a trop souvent de n'arrêter les projets des appareils de chauffage et de ventilation que quand les bâtiments sont à peu près terminés, au moins quant au gros œuvre, les dépenses ont été accrues pour cet hôpital dans une proportion énorme.

Des données comparatives relatives à des constructions récentes nous permettent de regarder comme à peu près certain qu'en préparant tous les emplacements et les conduits destinés aux appareils et en employant des dispositifs plus simples, la dépense d'établissement pour un hôpital analogue à celui de Lariboisière ne s'élèverait pas à la moitié du chiffre de 480 fr. par lit, relatif aux appareils de ventilation par appel.

Ainsi, sous le double rapport de la dépense d'établissement et de celle du service journalier, les frais occasionnés par le système de l'insufflation sont à peu près doubles de ceux qu'occasionne celui de l'aspiration.

L'on a prétendu, il est vrai, que les appareils de ventilation avaient été construits en prévision du service complet des six pavillons, ce qui expliquait l'excès de la dépense d'installation; mais cela n'est pas exact, attendu : 1° que l'exécution n'a été autorisée et commencée que pour les trois pavillons 2-4-6, et non pour les six pavillons; 2° que la plus grande partie provient des dépenses de canalisation des conduits d'air et des appareils de chauffage qui n'ont été installés que pour trois pavillons; 3° que les machines établies ne seraient pas suffisantes pour assurer le service de six pavillons.

Quant aux appareils du docteur Van Hecke, l'économie apparente de leur établissement, à laquelle on a attaché trop d'importance, ne provient que de ce qu'ils sont incomplets et d'une construction peu durable. Les tuyaux en tôle des calorifères ne résistent que cinq ou six ans, et exigent de grandes réparations. Le chauffage est tout à fait défectueux.

En comparant d'ailleurs les dépenses annuelles au volume d'air réellement évacué dans des circonstances favorables, on obtient les résultats suivants :

APPAREIL EMPLOYÉ.	PRIX DE LA VENTILATION ANNUELLE à raison d'un mètre cube par heure, intérêts et amortissement du capital à 10 %	
	compris.	non compris.
Chauffage à l'air chaud, ventilation par insufflation.	1 fr. 53	0 fr. 92

OBSERVATIONS SUR LES DISPOSITIONS DE DÉTAIL.

Les dispositions adoptées dans les divers hôpitaux pour la ventilation par aspiration sont loin d'être irréprochables; bien des proportions devraient être modifiées pour obtenir des résultats complétement satisfaisants. D'une autre part, le système de ventilation par insufflation de l'hôpital Lariboisière ne pourra,

comme on l'a vu, produire une évacuation régulière de l'air vicié que par l'addition d'appareils de chauffage de la cheminée générale d'évacuation; ce qui, en réalité, la ramènerait alors à celui de l'aspiration et conduirait à une augmentation de dépense dans ce système, qui est déjà le plus coûteux.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES.

1° La ventilation a pour objet l'évacuation de l'air vicié et son remplacement par de l'air neuf.

2° Le but principal de la ventilation est l'extraction immédiate de l'air vicié. Elle doit avoir lieu le plus près possible des points où l'air est souillé par des émanations nuisibles, afin d'en prévenir la diffusion dans l'atmosphère des salles. A l'inverse, l'air neuf doit être introduit dans les salles en des points éloignés des malades.

3° Les divers dispositifs qui procèdent par aspiration, lorsqu'ils sont convenablement proportionnés et bien établis, satisfont mieux et plus sûrement aux conditions précédentes que ceux qui procèdent exclusivement par l'insufflation de l'air neuf; ces derniers n'assurent pas en toute circonstance et en toute saison, à l'évacuation de l'air vicié, l'uniformité et la stabilité nécessaires.

4° L'introduction de l'air neuf, pris à telle hauteur que l'on voudra et en quantité suffisante, peut être obtenue par le seul effet de l'aspiration et sans le concours d'appareils soufflants, en donnant aux canaux d'amenée de l'air neuf et à leurs orifices des dimensions assez grandes et des dispositions convenables.

5° L'aspiration peut facilement être déterminée : 1° par les foyers ou calorifères avec cheminées servant au chauffage des salles ou autres appareils analogues, quand il s'agit de salles ou d'hôpitaux de petite ou de moyenne importance; 2° par ces mêmes moyens et au besoin par des foyers spéciaux établis à la base de cheminées de 15 à 20 mètres de hauteur, fonctionnant comme auxiliaires, quand il s'agit d'établissements hospitaliers considérables. L'air à évacuer doit affluer vers la base de la cheminée; le plus souvent il doit y être amené par un ou plusieurs conduits qui, en se ramifiant, vont aboutir à des orifices voisins des sources d'infection.

6° La ventilation par aspiration au moyen de foyers et de cheminées se prête à toutes les dispositions et proportions exigées par la grandeur et la disposition des salles. Elle se rapproche, autant qu'on peut le désirer, de l'aération ordinaire et naturelle des chambres et appartements; elle permet de faire varier le volume et la température de l'air affluent selon les besoins des divers genres de maladies. Elle n'exige que l'établissement peu dispendieux de foyers avec leurs cheminées et de conduits ou canaux qui, une fois établis, coûtent peu d'entretien. Elle ne demande d'autres soins que l'alimentation régulière des foyers, dont tout manœuvre peut être chargé.

La ventilation par insufflation exige, outre les conduits et cheminées d'évacuation communs aux deux systèmes, des machines soufflantes et des machines motrices, avec de longs conduits particuliers pour l'amenée de l'air insufflé. Elle nécessite l'intervention d'ouvriers spéciaux, mécaniciens et chauffeurs, et des frais d'entretien.

7° Le système de l'insufflation n'offre pas les mêmes garanties que le système de l'aspiration contre la diffusion de l'air vicié d'une salle dans une autre, ni contre les rentrées de l'air vicié par les orifices des canaux d'évacuation ou par les fissures de leurs parois, quand une circonstance accidentelle, comme l'ouverture de portes ou de fenêtres, vient troubler l'état habituel de pression et de mouvement de l'air intérieur des salles.

8° L'aspiration déterminée par de simples foyers et cheminées, avec des ouvertures de dimensions suffisantes et convenablement placées pour l'admission de l'air neuf en remplacement de l'air vicié et sans le concours d'aucun appareil mécanique, constitue donc, sauf des circonstances tout à fait exceptionnelles, le moyen le plus facilement applicable d'obtenir une ventilation hygiénique aussi active qu'on puisse le désirer, dans les salles des grands hôpitaux ou dans les hôpitaux de moyenne et de petite importance, susceptibles d'être chauffés par un foyer.

9° En ce qui concerne les établissements où l'on serait conduit, par des circonstances spéciales, à recourir aux moyens mécaniques d'insufflation, il conviendrait d'y ajouter l'action d'une aspiration énergique, s'exerçant spécialement sur les points qui donnent lieu à des émanations suspectes.

Le rapport qui précède a été lu en séance du Comité, le 2 juin

1864, et discuté dans les séances des 10, 24 novembre, 8, 21 décembre 1864 et 12 janvier 1865.

Le Comité, après avoir approuvé le rapport, en a voté successivement les conclusions et l'a adopté dans son ensemble, le 26 janvier 1865.

Le Sénateur Vice-Président,
DUMAS.

Le Secrétaire,
Dr A. DEVERGIE.

INSTRUCTIONS

SUR LES

DISPOSITIONS GÉNÉRALES ET SUR LES PROPORTIONS A ADOPTER

POUR

LES APPAREILS DE VENTILATION

DES HOPITAUX,

Par M. le général **MORIN**.

On ne se propose, dans l'instruction suivante, que de faire connaître les proportions des parties principales des passages et des conduits qu'il est nécessaire de ménager dans les salles de l'hôpital que l'on veut ventiler pour assurer facilement l'évacuation de l'air vicié et l'introduction de l'air nouveau.

Ces proportions s'appliquent d'ailleurs aux diverses dispositions que les conditions locales peuvent conduire les architectes à adopter.

Le volume d'air à extraire et à introduire dans les salles de malades pouvant, selon les circonstances, varier de 60 à plus de 100 mètres cubes par heure et par lit, on prendra pour base du calcul des proportions des appareils à établir celui de 80 mètres cubes par heure et par lit.

Lorsque les conditions locales le permettront, l'évacuation par appel de l'air vicié aura lieu de préférence, en général, par des conduits descendants, ouverts derrière la tête des lits, à fleur du

plancher, et au nombre d'un au moins pour deux lits dans les hôpitaux ordinaires, et d'un par lit dans les hôpitaux d'accouchement.

Lorsqu'on emploiera pour mode de chauffage la circulation de l'eau chaude, et que les dispositions adoptées ainsi que le voisinage des cheminées d'appel le permettront, on cherchera à utiliser pour l'appel une partie de la chaleur des petits réservoirs d'eau chaude nécessaires aux besoins courants.

Mais, il ne faudrait pas que l'utilité de ces petits réservoirs, qui n'ont qu'une très-faible capacité, conduisît à adopter exclusivement, comme l'a fait M. Léon Duvoir, l'appel par en haut, qui est moins avantageux.

On remarquera que la disposition qui résultera de l'appel par en bas atténuera beaucoup l'affaiblissement occasionné dans les murs par le passage des conduits d'évacuation.

Ainsi, pour un bâtiment ayant trois étages de salles comme ceux de l'hôpital de Lariboisière, les trumeaux du second étage ne recevraient aucun conduit d'évacuation, puisque le leur propre partirait du plancher; ceux du premier étage ne seraient traversés que par un seul conduit venant du deuxième étage; et ceux du rez-de-chaussée ne seraient évidés que par les deux qui correspondraient au premier et au second étage[1].

Les épaisseurs des murs étant plus grandes aux étages inférieurs, ces évidements seront toujours, à proportion, moins fâcheux dans le système de l'appel par en bas que dans celui de l'appel par en haut, qui conduit au contraire à établir le plus grand nombre de conduits dans les trumeaux des étages supérieurs, où les murs ont le moins d'épaisseur.

Cette considération est un motif de plus qu'apprécieront les architectes pour préférer l'appel par en bas à celui qui se ferait par en haut.

1. Les fig. 1 et 2, pl. 27, qui ne représentent que des indications d'ensemble, font voir avec évidence l'avantage que présente l'appel par en bas sur l'appel par en haut, au point de vue de l'affaiblissement que produit dans les murs le passage des conduits d'évacuation de l'air. L'appel par en bas donne d'ailleurs, comme on le sait, la facilité d'utiliser toute la hauteur de la cheminée générale d'évacuation, au bas de laquelle se rendent les conduits pour donner à l'appel toute l'activité désirable. Il constitue un moyen plus économique d'utiliser la chaleur dépensée pour le produire. A. M.

Pour un bâtiment d'une construction analogue à celle de l'hôpital Lariboisière, dont les trumeaux ont au rez-de-chaussée $3^m,05$ de largeur moyenne sur $0^m,80$ d'épaisseur ou $2^{mq},44$ de section, si les deux conduits venaient du premier et du deuxième étage en descendant vers les caves, ils exigeraient au plus dans les murs (en y comprenant les languettes de séparation et même le parement intérieur en briques de champ) une tranchée de $2 \times 0^m,30 + 0^m,05 = 0^m,65$ de large sur $0^m,22 + 0^m,05 = 0^m,27$ de profondeur, ou en tout $0^{mq},1755$ de section, c'est-à-dire $\frac{1}{14}$ de la section totale du trumeau seul, ce qui ne peut avoir aucune influence sur la stabilité d'un édifice bien construit et bien ancré.

A l'inverse, si l'évacuation se faisait par en haut, les trumeaux du deuxième étage qui n'auraient que $3^m,05 \times 0^m,60 = 1^{mq},83$ de section devraient être traversés par trois conduits exigeant une tranchée de $3 \times 0^m,30 + 0^m,10 = 1^m,00$ de large sur $0^m,27$ de profondeur ou $0^{mq},27$ de section, ce qui équivaudrait à 1/7 de celle de la maçonnerie : cela ne serait pas encore inadmissible.

Dans le cas où les conduits d'introduction d'air nouveau devraient être aussi pratiqués dans les trumeaux, ce que l'on pourra éviter quelquefois dans les hôpitaux dont les salles n'auront qu'un nombre de douze à quatorze lits, on verrait encore que l'affaiblissement des murs par le passage de tous les conduits ne compromettrait pas la solidité des murs, convenablement reliés entre eux et ancrés.

Lorsque la nature des matériaux employés ou des conditions locales ne permettraient pas de donner aux murs des épaisseurs suffisantes pour y pratiquer ces passages avec sécurité, on pourra établir les gaînes d'évacuation et d'arrivée de l'air en saillie à l'intérieur des salles.

Alors, pour diminuer le moins possible la largeur disponible de ces salles et ne pas nuire à leur aspect, on restreindra l'épaisseur des gaînes en leur faisant occuper à peu près toute la largeur des trumeaux.

On prendra les dispositions nécessaires pour que les gaînes ou conduits d'évacuation ne soient pas traversés par les poutres ou solives du plancher, ce qu'il sera facile d'éviter à l'aide des chevêtres.

S'il n'y a pas de caves dans les bâtiments, ce qui d'ailleurs n'est pas indispensable, on établira des arceaux assez grands pour donner les sections de passage nécessaires, et ils seront à l'extrados recouverts, comme le reste du sol du rez-de-chaussée, d'une aire en béton avec enduit de bitume pour préserver ce rez-de-chaussée de l'humidité.

Si quelque difficulté s'opposait à ce que les conduits d'évacuation descendissent au-dessous du sol du rez-de-chaussée, on les terminerait à hauteur de ce sol. Ce n'est que dans des cas exceptionnels, ou pour des bâtiments existants qui offriraient des obstacles particuliers, que l'on dirigerait ces conduits de bas en haut vers les étages supérieurs ou vers les combles.

Dans tous les cas, les conduits d'évacuation de l'air vicié correspondant à des lits placés aux différents étages, les uns au-dessous des autres, resteront isolés dans leur parcours vertical, et ils ne seront réunis par groupes dans des conduits collecteurs partiels et horizontaux qu'après y être demeurés séparés par des languettes sur une étendue de trois à quatre mètres au delà du débouché de ceux qui seront les plus voisins de la cheminée générale d'évacuation, afin de s'opposer autant que possible à l'établissement de communications d'un étage à un autre.

On calculera la section à donner aux premiers conduits d'évacuation en comptant sur l'extraction d'un volume d'air de 80^{mc}. par heure ou de $\frac{80^{mc}}{3600} = 0^{mc},0222$ en une seconde et par lit, et sur une vitesse moyenne de passage de $0^{m},70$ en une seconde, ce qui conduit à leur donner $\frac{0^{mc},022}{0^{m},70} = 0^{mq},0320$ de section par lit; et, comme on peut admettre que, dans les hôpitaux ordinaires, il suffira d'un conduit pour deux lits, il devra avoir $0^{mq},064$ de section, ou par exemple $0^{m},22$ de profondeur sur $0^{m},30$ de largeur.

Pour les hôpitaux de femmes en couches, le volume d'air à évacuer par lit étant de 100 mètres cubes par heure ou de $0^{mc},028$ par seconde, la section des premiers conduits sera de $0^{mq},040$ pour un lit.

Dans les premiers conduits collecteurs, qui réuniront les précédents par groupes, on admettra que la vitesse moyenne sera de $1^{m},00$ à $1^{m},20$ en $1''$, et l'on calculera la section d'après cette

base et d'après le nombre de lits dont ils devront assurer l'assainissement.

Les seconds conduits collecteurs, si l'on en établit pour réunir tout l'air vicié évacué par les précédents, seront proportionnés en y supposant une vitesse moyenne de 1^{m},40.

Enfin, dans la cheminée générale d'évacuation, on admettra que la vitesse moyenne doit être d'environ 1^{m},80, et qu'à sa partie supérieure elle sera au moins de 2^{m},00 en 1", afin de la mettre à l'abri des bourrasques.

Par l'adoption du système de l'appel exercé par en bas, une même cheminée générale d'évacuation pourra, dans beaucoup de cas, servir pour plusieurs pavillons, en se réservant les moyens d'interrompre, à l'aide de portes, les communications avec ceux qui ne seraient pas occupés.

Au bas de la cheminée on établira une grille en fer entourée d'un rebord en briques et qui sera complétement isolée des parois, afin que l'air affluent des conduits collecteurs puisse en partie circuler autour et ne s'échauffer qu'à une température modérée ou suffisante[1].

Cette température intérieure moyenne de la cheminée doit en toute saison excéder d'une quantité constante, de 20 à 25 degrés en général, celle de l'air extérieur, pour donner à l'appel et en tous temps la même énergie; le feu du foyer d'appel devra donc être beaucoup plus énergique l'été que l'hiver.

Des dispositions analogues proportionnées d'après les mêmes bases seront prises dans le cas où la répartition adoptée pour les divers pavillons conduirait à n'établir qu'une seule cheminée d'évacuation pour un plus grand nombre de bâtiments.

Lorsqu'au lieu d'être séparées des bâtiments ces cheminées y seront accolées, ou placées à l'intérieur, on profitera autant que possible de la chaleur qu'on pourrait emprunter aux réservoirs d'eau chaude, aux fourneaux à cataplasmes, et en général à tous les appareils nécessaires de service.

Quand la disposition générale adoptée pour les bâtiments

1. Dans tous les cas, l'on devra ménager une entrée directe, ouvrant à l'extérieur à la base de la cheminée, et par laquelle le chauffeur viendra alimenter le four. S'il était obligé de faire son service par les galeries d'évacuation, il courrait risque d'être asphyxié, ou au moins fort incommodé. A. M.

comprendra une galerie de promenade au long d'une des longues faces, l'appel pourrait être exercé à hauteur de chaque étage, et de manière à éviter l'ouverture d'aucun conduit vertical dans les murs pour l'évacuation de l'air vicié, en plaçant la cheminée en un point de cette galerie d'évacuation vers laquelle les conduits partiels seraient dirigés en passant dans des entrevous disposés au plafond des corridors [1].

Une pareille disposition permettrait d'utiliser plus facilement que toute autre, pour activer la ventilation, une partie de la chaleur des petits réservoirs d'eau chaude nécessaire au service et pour les bains, celle des fourneaux à cataplasmes, sans tomber dans les inconvénients que l'on reproche, non sans raison, à la disposition que L. Duvoir avait exclusivement adoptée.

Dans ce cas, chaque pavillon aurait sa cheminée générale d'évacuation recevant à hauteur de chaque étage l'air vicié qui en proviendrait dans des gaînes spéciales isolées les unes des autres jusqu'au-dessus de l'étage supérieur; au bas de chacune de ces gaînes collectives, on pourrait disposer un petit foyer auxiliaire d'appel qui ne servirait que dans les cas où son action serait indispensable pour obtenir un appel assez énergique.

Il doit être d'ailleurs bien entendu que, dans tous les cas, la surface intérieure des gaînes et des conduits collecteurs devra être recouverte d'un enduit aussi bien lissé que possible, pour diminuer la résistance des parois au mouvement de l'air, et que des ouvertures ou regards y seront ménagés pour permettre de les nettoyer au moins deux fois par an, afin d'enlever les toiles d'araignées et autres obstacles susceptibles de gêner la circulation de l'air.

En général, il serait convenable de faire surmonter la cheminée d'évacuation par un appareil à girouette dont le vent dirigerait l'orifice d'évacuation du côté d'aval, ce qui permettrait d'utiliser l'action des courants d'air les plus énergiques au profit de l'appel, qu'ils contrarieraient sans cette précaution.

Les proportions et les dispositions générales que l'on vient d'indiquer seront aussi observées lorsqu'on aura été obligé de

1. Voir plus loin les projets présentés pour ce cas par M. L. Duvoir et par M. d'Hamelincourt. A. M.

faire l'appel de l'air vicié soit au niveau des salles comme on l'a indiqué plus haut, soit par la partie supérieure des bâtiments, ainsi que cela peut arriver, surtout quand il s'agit de bâtiments existants.

Toutes les fois que les conditions locales le permettront, les tuyaux de fumée des appareils de chauffage seront dirigés dans la cheminée générale d'évacuation pour utiliser la chaleur abandonnée par leurs parois, ils y seront isolés, et seront en fonte.

Les foyers des chaudières de la buanderie seront, s'il est possible, établis à la base même de cette cheminée, afin d'utiliser au profit de la ventilation la chaleur acquise dans ces foyers par les gaz produits de la combustion.

Exemple. Comme simple application des règles précédentes, nous supposerons qu'il s'agisse d'un hôpital de 100 lits répartis dans deux pavillons auxquels on ne donnerait qu'une même cheminée d'évacuation, et qu'il y ait deux étages contenant ensemble 50 lits par pavillon, distribués dans quatre salles de 12 lits, et deux chambres à un lit. Dans cette hypothèse, chaque salle contiendrait 6 lits sur chaque face, et il y aurait deux conduits d'évacuation de $0^{m},064$ de section, ou de $0^{m},22$ sur $0^{m},30$ intérieurement et deux de $0^{mq},032$ soit $0^{m},16$ sur $0^{m},20$.

Ces conduits verticaux descendront au-dessous du sol du rez-de-chaussée et se réuniront deux à deux au nombre de six dans de premiers collecteurs horizontaux destinés à livrer passage à l'air appelé par les premiers, et qui chacun devront évacuer $12 \times 0^{mc},0222 = 0^{mc},266$ en 1 seconde, à la vitesse de $1^{m},00$ en 1 seconde; ils auront donc une section de $0^{mq},266$ ou $0^{m},52$ sur $0^{m},52$, par exemple.

L'un de ces conduits qui évacuerait en outre l'air des deux chambres à un lit, ou $14 \times 0^{mc},0222 = 0^{mc},31$, devrait avoir $0^{mq},31$ de section ou $0^{m},52$ sur $0^{m},60$.

Si ces conduits n'arrivent pas directement à la base de la cheminée, et si les dispositions générales adoptées obligent à réunir les premiers collecteurs de chaque pavillon dans une deuxième galerie ou 2e collecteur, on aura pour le volume d'air auquel ils devront donner passage $50 \times 0^{mc},0222 = 1^{mc},11$, avec une vitesse de $1^{m},40$. Leur section transversale sera alors égale à $\frac{1^{mc},11}{1^{m},40} = 0^{mq},79$ ou $0^{mq},80$ et pourra avoir $0^{m},90$ sur $0^{m},90$. Si la

cheminée générale doit évacuer l'air vicié des deux pavillons, ou pour 100 lits 8,000^{mc} par heure ou 2^{mc},222 en 1", à la vitesse moyenne de 1^{m},80 en 1", sa section sera égale à $\frac{2^{mc},222}{1^{m},80} = 1^{mq},24$ et son diamètre moyen sera 1^{m},255. Celui du sommet sera réduit à 1^{m},19 pour y obtenir la vitesse de 2^{m},00 en 1".

INTRODUCTION DE L'AIR NOUVEAU.

Les orifices d'introduction de l'air nouveau, chaud ou frais, seront toujours pratiqués près du plafond, et répartis aussi uniformément que possible dans toute l'étendue des salles, à raison d'un pour deux lits s'il se peut, ou d'un au moins pour quatre lits. Quand ils seront ouverts dans les parois verticales des murs, ils seront munis de cloisons directrices en forme de jalousies inclinées à 20 ou 25 degrés à l'horizon, de bas en haut, afin de faire affluer l'air dans ce sens vers le plafond.

La section transversale des conduits verticaux ou autres sera calculée de manière que l'air les parcoure avec une vitesse qui n'excède pas 1^{m},00 à 1^{m},20. Celle des passages immédiats d'affluence de l'air dans les salles sera déterminée par la condition que la vitesse dirigée vers le plafond n'atteigne aussi que 1^{m},00 à 1^{m},20 en 1 seconde.

Dans le cas où l'air affluerait de haut en bas dans le sens vertical par des ouvertures ménagées dans le plafond même, ce qui peut arriver si l'on emploie des doubles planchers ou quand on aura une capacité servant de chambre à air, la somme des sections libres de passage par les orifices devra être calculée par la condition que la vitesse n'excède pas 0^{m},50 à 0^{m},60 en 1 seconde.

Lorsqu'on se servira pour le chauffage de calorifères ordinaires, l'air chaud qu'ils fourniront devra être introduit, avant son entrée dans les salles, dans une chambre de mélange, où l'on pourra faire arriver de l'air extérieur en proportion convenable pour modérer selon les besoins la température de l'air à fournir aux salles[1].

1. Pour assurer le mélange de l'air extérieur frais avec l'air chaud fourni par l'appareil de chauffage, il convient d'imiter dans tous les cas la disposition que nous avons adoptée pour les amphithéâtres du Conservatoire, c'est-à-dire de

Dans la saison du chauffage, la température de l'air affluent devrait, pour une ventilation salubre, différer très-peu de celle que l'on veut maintenir dans les salles, et qui doit être habituellement de 15 à 16 degrés.

Ces chambres de mélange pourront être formées soit par des entrevous pratiqués au-dessus des calorifères, soit dans des corridors ou des pièces de petites dimensions.

Des registres seront disposés dans les chambres de mélange pour permettre de faire varier à volonté et selon les besoins la température de l'air qu'elles fourniront.

On atténuera beaucoup d'ailleurs les défauts des calorifères à air chaud en disposant au-dessus de leur grille une cloche à double paroi remplie d'eau, qui recevrait l'action directe du feu et servirait en outre à alimenter les réservoirs d'eau chaude. Des dispositions analogues seront prises lorsqu'on emploiera des appareils de chauffage par l'eau chaude ou par la vapeur.

Si l'hôpital est convenablement isolé et situé dans une position salubre, les prises d'air extérieur pourront être faites soit à fleur du sol, au milieu de pelouses de verdure ou de jardins (comme à Vincennes, à l'hôpital d'accouchement de Saint-Pétersbourg), soit à hauteur des divers étages ; et l'on ne devra recourir aux cheminées d'appel descendant pour prendre l'air à une certaine hauteur que dans les cas où la proximité de bâtiments plus ou moins insalubres donnerait lieu de craindre l'infection de l'air à la surface du sol. On aura soin alors de placer la cheminée de prise d'air aussi loin que possible de celle d'évacuation générale. La section de cette cheminée, et en général celle de tous les orifices extérieurs de prise d'air, sera calculée de façon que la vitesse d'introduction n'y excède pas $0^m,60$, afin

diriger au moyen de languettes plus ou moins longues, selon les cas, l'air frais au-dessus du courant d'air chaud. Il arrive alors que, le premier plus dense que le second tendant à s'abaisser, tandis que le second, plus léger, tend à s'élever, le mélange se produit nécessairement.

Cette disposition s'appliquerait aussi bien à des orifices isolés et directs d'accès de l'air chaud ou de l'air frais dans les salles qu'à ceux d'affluence dans les chambres de mélange. On en verra un exemple dans le projet de chauffage et de ventilation rédigé par M. D'Hamelincourt pour un pavillon de soixante lits répartis dans trois salles. A. M.

que l'appel qu'ils exerceront dans leur voisinage ne s'étende qu'à une petite distance.

Pour la saison d'été, où l'action de l'appel sur l'introduction de l'air n'est plus favorisée par l'élévation de la température que le chauffage communique à l'air nouveau, l'on devra ménager dans les murs des bâtiments des orifices auxiliaires, disposés comme les précédents et particulièrement ouverts sur les faces exposées au nord ou au levant, et munis de moyens de fermeture qui permettent de les ouvrir ou de les clore à volonté. L'air ainsi introduit pouvant, pendant la nuit, être assez frais, il importe que sa vitesse d'arrivée soit dirigée de bas en haut vers le plafond, et de $0^m,60$ en $1''$ environ, afin qu'elle s'éteigne rapidement avant qu'il n'arrive aux orifices d'évacuation : cette disposition est préférable à celle des fenêtres anglaises.

La manœuvre de tous les registres sera disposée de manière qu'elle ne soit qu'à la disposition des agents préposés au service.

Règle générale pour le contrôle du service de la ventilation. — Lorsqu'un dispositif quelconque de ventilation par appel aura été établi, on constatera, par des expériences spéciales faciles à faire, dans la cheminée générale d'évacuation, ou si l'on veut dans les conduits partiels, si le volume d'air prescrit est réellement évacué, et quel est l'excès correspondant de la température dans cette cheminée sur la température de l'air extérieur. Or si, pour cet excès, qui en général ne différera pas beaucoup, comme on l'a dit plus haut, de 20 à 25 degrés, on a obtenu la ventilation voulue, on prescrira de régler le chauffage de la cheminée de telle sorte qu'en tous temps sa température dépasse de la même quantité celle de l'air extérieur.

On fera connaître plus tard des moyens de contrôle qui faciliteront à cet effet la surveillance de MM. les directeurs d'hôpitaux.

Cas où le chauffage sera fait par des cheminées. — Lorsque les salles de l'hôpital seront chauffées par des cheminées pour lesquelles on devra préférer la disposition de celles qui déterminent à la fois l'évacuation de l'air vicié et la rentrée d'une proportion assez considérable d'air nouveau convenablement chauffé, à leurs orifices d'introduction l'on en ajoutera d'autres

assez nombreux, et disposés comme on l'a dit pour la ventilation d'été.

Ces cheminées seront d'ailleurs disposées de manière à pouvoir recevoir de petits poêles ou fourneaux à coke ou à houille destinés à produire, l'été, et surtout la nuit, l'appel de l'air nouveau et l'évacuation de l'air vicié.

Les cages d'escaliers, les antichambres et autres pièces donnant accès dans les salles devront être chauffées à une température qui, pour ces dernières surtout, devra être au moins égale à celle des salles. On atténuera ainsi l'effet des rentrées d'air produites par ces ouvertures sous l'action de l'aspiration. Il serait donc convenable d'établir des calorifères généraux pour ces locaux, même quand on se servirait de cheminées à l'intérieur des salles.

Cuisines et lieux d'aisances.— Les cuisines et les lieux d'aisances devront être isolés des salles et ventilés par aspiration, d'une manière énergique, par des moyens analogues à ceux que l'on a indiqués.

Le volume d'air qui devra être aspiré sous chaque siége des lieux d'aisances par un conduit spécial ne sera pas moindre de 40^{mc} par heure et par siége. Ces conduits d'évacuation de l'air vicié seront calculés par la condition que la vitesse y soit de $0^m,80$ environ, et l'on aura soin de les mettre en communication directe, s'il est possible, avec la cheminée générale.

Usage des becs d'éclairage. — Dans les hôpitaux éclairés au gaz, il sera bon d'utiliser la chaleur développée par les appareils employés à activer cet appel. Tous les cabinets d'aisances seront munis de doubles portes fermant de dehors en dedans dans le sens de l'appel.

Dispositions pour les cas d'encombrement. — Lorsque l'appel sera déterminé par la chaleur développée par des appareils de chauffage par circulation d'eau chaude ou de vapeur dont l'énergie ne peut être augmentée beaucoup au delà de certaines limites, comme celle des foyers ordinaires, il sera prudent de disposer dans la cheminée d'appel général des becs de gaz que l'on n'allumera que dans les cas où un encombrement momentané ou la crainte d'influences épidémiques le rendrait nécessaire. On cal-

culera alors le nombre de becs et leur consommation d'après la proportion approximative de 500^{mc} d'air évacué par mètre cube de gaz brûlé.

Ce moyen auxiliaire n'est pas économique, et ne doit être employé que pour des circonstances exceptionnelles, comme celles que l'on a indiquées.

Observation générale. — Des proportions analogues à celles dont on a donné l'indication dans cette note pour les appareils fonctionnant par appel seront adoptées dans les établissements où l'on aurait été conduit par des circonstances spéciales à recourir à des moyens mécaniques d'insufflation accompagnés d'appareils d'appel.

On ne croit pas devoir, pour ce cas particulier, entrer dans des détails plus étendus, parce qu'alors les projets devront être étudiés avec le concours d'ingénieurs spéciaux pour ces sortes de travaux.

NOTE

SUR L'APPLICATION DES PRINCIPES ADOPTÉS

PAR LE

COMITÉ CONSULTATIF D'HYGIÈNE ET DE SERVICE MÉDICAL DES HOPITAUX,

---

Application des principes précédents à un pavillon d'hôpital de 60 *lits.*

Pour montrer, par des études plus détaillées, que les principes adoptés par le comité consultatif d'hygiène et du service des hôpitaux sont facilement applicables et ne conduiraient pas à des dépenses, à beaucoup près, aussi considérables que celles qui ont été faites pour l'hôpital Lariboisière, lesquelles pourraient, avec raison, faire hésiter plus d'une administration à les

adopter, il m'a paru utile de faire rédiger par des constructeurs expérimentés des projets conformes à ces principes, et accompagnés de devis faisant connaître le montant des dépenses inhérentes à l'installation des appareils de chauffage et de ventilation.

Je me suis, à cet effet, adressé à deux des plus habiles constructeurs d'appareils de ce genre, qui aient fait leurs preuves par un grand nombre de travaux, M. Guérin, ingénieur de la maison L. Duvoir-Leblanc, et M. d'Hamelincourt, successeur de René Duvoir. Au lieu de cette rivalité funeste qui avait divisé pendant leur vie les deux frères Duvoir, les ingénieurs qui leur ont succédé ont aujourd'hui le bon esprit de n'avoir entre eux d'autre concurrence que celle de faire le mieux possible. J'ai posé à tous deux les bases du projet à rédiger, et c'est le résultat de leurs études que je fais connaître dans cette note.

Ces études devaient avoir pour objet le chauffage et la ventilation d'un pavillon d'hôpital ayant trois étages de salles de vingt lits chacune, dans l'hypothèse où un corridor de promenade régnerait à chaque étage, dans toute la longueur du bâtiment. L'appel de l'air vicié devait être fait, dans ce cas, à hauteur de chaque étage; ce qui dispensait de pratiquer les gaînes d'évacuation dans l'épaisseur des murs, permettait de les établir dans un entrevous ménagé dans le corridor, et de conduire l'air vicié dans une cheminée unique d'appel, où des foyers d'échauffement devaient être disposés.

Les dispositions proposées par chacun de ces ingénieurs sont indiquées dans les planches 27 et 28, auxquelles je crois utile de joindre quelques explications.

Je dois d'ailleurs faire remarquer que ces projets ne sont étudiés qu'au point de vue du chauffage et de la ventilation, et qu'ils ne comprennent pas ce qui est relatif aux autres services d'un hôpital. Le seul but de ces études était de montrer, par des applications, la marche à suivre et les dispositions générales à adopter pour assurer le chauffage et la ventilation d'un grand pavillon d'hôpital, conformément aux principes admis dans les rapports précédents.

Projet de M. Guérin, ingénieur de la maison L. Duvoir-Leblanc, pour un pavillon d'hôpital de 60 lits.

Dans ce projet, le chauffage des salles est obtenu par la circulation de l'eau chaude de la manière suivante :

Une chaudière A (pl. 27, *fig.* 3 et 4) échauffe l'eau par un tuyau d'ascension *aaa* et l'envoie dans un récipient supérieur M, (*fig.* 3). De ce récipient partent deux tuyaux P P de distribution, établis parallèlement à l'un des murs de face, et qui sont en communication avec dix séries de trois tuyaux verticaux chacune, placés dans des gaînes ou coffres R R R, que l'auteur a supposés construits en saillie à l'intérieur de la salle. Tous ces tuyaux verticaux sont en communication avec un conduit de retour QQQ qui ramène l'eau à la chaudière A.

Le système fonctionne à basse pression et à l'air libre, avec lequel il communique par un tuyau d'échappement N (*fig.* 3) débouchant au-dessus du toit.

L'air qui doit être introduit et échauffé dans les coffres au contact des tuyaux est pris sur la façade opposée au corridor, à hauteur du plancher de chaque étage, par des orifices KKK (*fig.* 4), ce qui suppose que le pavillon est construit dans un emplacement salubre. Si la situation n'était pas aussi favorable, M. Guérin indique qu'il aurait recours à l'usage d'une cheminée spéciale d'introduction, qui serait établie à l'extrémité du pavillon opposée à celle où est la cheminée d'évacuation, et qu'il ferait alors arriver l'air dans un conduit souterrain, d'où il le distribuerait facilement dans les coffres verticaux.

L'air qui a parcouru les coffres et qui s'y est échauffé débouche à hauteur du plafond sous les corniches par de longs orifices HHH (*fig.* 3), au nombre de six, offrant ensemble $1^{mq},30$ de superficie; ce qui est largement suffisant pour assurer l'introduction de l'air en été, aussi bien qu'en hiver, avec des vitesses très-faibles.

L'évacuation de l'air vicié est produite par l'appel que détermine, pendant l'hiver, le tuyau de fumée du calorifère. Il est extrait des salles par des orifices E E (*fig.* 3, 4 et 5) ménagés dans les trumeaux entre les lits, à raison d'un pour deux lits. L'air vicié venant du côté opposé au corridor passe dans un conduit

pratiqué dans l'épaisseur du plancher, et vient gagner des conduits collecteurs GGG (*fig.* 3 et 4) établis dans un entrevous ménagé dans le corridor au-dessous du plancher de chaque étage. Tous les collecteurs d'un même étage sont isolés les uns des autres par des languettes (*fig.* 3 et 4), jusqu'auprès de la cheminée, où ils débouchent dans le collecteur général de l'étage.

La cheminée générale d'évacuation DD (*fig.* 3, 4 et 5) reçoit les collecteurs généraux, qui s'y prolongent verticalement et sont séparés par des languettes dont chacune s'élève jusqu'au-dessus du plancher de l'étage supérieur. Cette cheminée est surmontée d'un tuyau à girouette qui permet d'utiliser l'action du vent au profit de la ventilation.

Le tuyau de fumée du calorifère circule dans les parties verticales de chacun de ces collecteurs, de manière à y abandonner la chaleur nécessaire pour donner à l'appel l'énergie voulue. Pendant les saisons où le chauffage est ralenti ou supprimé, un petit fourneau ordinaire B (*fig.* 3 et 5) sert de moyen auxiliaire ou unique de déterminer cet appel. Son tuyau de fumée s'embranche dans celui de la chaudière principale.

Ce mode de chauffage de la cheminée d'appel est d'une installation plus économique qu'une circulation spéciale d'eau chaude qui serait établie dans cette cheminée. Il peut être très-énergique, ainsi que l'expérience l'a déjà prouvé; mais sans une surveillance active, il n'est pas d'un effet aussi régulier que le chauffage par l'eau chaude; et je doute qu'il soit même plus économique, parce que les tuyaux inférieurs seront souvent beaucoup plus chauds qu'il ne faudrait, tandis qu'à l'inverse les parties supérieures ne le seront pas assez pendant les ralentissements du feu.

M. Guérin n'a donné, sans doute, la préférence à ce moyen de chauffage que dans la vue de diminuer les frais d'établissement; car il connaît aussi bien que qui que ce soit les avantages du chauffage par circulation d'eau, sous le rapport de la régularité du service, et il lui eût été facile d'indiquer les dispositions à prendre pour l'adopter.

Outre le chauffage des salles par l'introduction de l'air chaud, cet ingénieur a supposé qu'un poêle à eau chaude serait établi dans chacune d'elles pour l'agrément des malades.

L'on remarquera que, dans le projet de M. Guérin, les gaînes

RRR (*fig.* 4) de chauffage et d'arrivée de l'air nouveau ne sont supposées établies que d'un seul côté des salles. Cela ne paraît pas devoir présenter d'inconvénient sérieux, surtout dans la saison du chauffage, attendu que l'observation montre que, malgré l'énergie de l'appel, l'air chaud commence, en affluant, par s'étaler le long du plafond jusque vers le mur opposé, et que ce n'est qu'ensuite qu'obéissant à l'appel il redescend et se dirige vers les orifices d'extraction, dont la répartition symétrique sur les deux faces du bâtiment assurerait l'uniformité de l'évacuation de l'air vicié. Pendant la saison d'été, il est très-probable que les choses se passeraient d'une manière analogue.

Le devis que M. Guérin a joint à son projet ne comprend pas les travaux de maçonnerie relatifs à la cheminée d'évacuation C et aux coffres d'introduction d'air RRR; mais les frais à faire pour établir les conduits FFF et GGG destinés à l'évacuation de l'air y sont comptés. La dépense totale dans ces conditions, pour un hôpital de 60 lits, serait, d'après ce devis, de 13,493 fr., ou de 225 fr. par lit.

Les dispositions proposées par M. Guérin pour le cas particulier qui lui avait été proposé s'appliqueraient en grande partie à des pavillons sans corridor à chaque étage, et il est évident qu'il lui serait facile de les plier à d'autres cas, sans que la dépense dépassât notablement le chiffre auquel s'élève son devis.

Cet ingénieur n'a pas cru devoir rendre le service des bains solidaire de celui de la circulation de l'eau chaude. Il pense qu'il est plus sûr et plus économique d'utiliser pour ce service la chaleur perdue des fourneaux d'office qui fonctionnent en toute saison.

Projet de M. d'Hamelincourt pour un pavillon d'hôpital de 60 lits.

Dans ce projet, le chauffage, l'introduction et l'évacuation de l'air sont produits par des appareils de circulation d'eau chaude.

Un calorifère à eau A (pl. 28, *fig.* 2 et 3), placé dans les caves ou dans un caveau spécial, établit pour le chauffage la circulation de l'eau dans une série de conduits verticaux *aaa* correspondants en plan (*fig.* 2 et 3), à l'intervalle de deux lits. Ces conduits sont supposés pratiqués dans l'épaisseur des murs;

ils pourraient, au besoin, être en saillie à l'intérieur, ou même à l'extérieur des salles, sous forme de pilastres.

Le plan du rez-de-chaussée (*fig.* 3) indique la section des tuyaux verticaux d'ascension et de retour et la *fig.* 2, coupe transversale, montre celle des tuyaux généraux d'émission *bb* et de retour *b'b'* renfermés dans deux carneaux horizontaux, qui règnent dans toute la longueur du bâtiment.

L'auteur a supposé que le pavillon était isolé, placé au milieu de cours et de jardins assez salubres pour permettre de prendre l'air sur les façades du bâtiment par de simples ouvertures ménagées dans les murs. Ce cas se présente souvent, et s'il en était autrement, l'on pourrait, comme on le verra plus loin dans un autre projet de M. d'Hamelincourt, prendre l'air à telle hauteur qu'on le voudrait à l'aide d'une cheminée spéciale convenablement disposée.

A hauteur du plafond de chaque étage, les conduits *aaa* sont fermés par un diaphragme et partagés ainsi en trois tronçons que parcourt la série des tuyaux de circulation d'eau, et dont chacun est affecté au service de l'étage correspondant.

Au bas de chacun de ces tronçons, une ouverture *ccc* (*fig.* 2) est ménagée pour l'introduction de l'air extérieur, qui doit s'échauffer au contact des tuyaux d'eau chaude en parcourant le conduit. Cet air, arrêté au sommet des conduits *aaa* (*fig.* 2) par des languettes inclinées, se dirige vers le plafond, dont il suit la surface en perdant sa vitesse d'arrivée.

Au-dessus des languettes directrices de l'air chaud, des ouvertures *c'c'c'* (*fig.* 2) permettent au besoin à l'air extérieur de s'introduire aussi dans les salles vers le plafond.

Cette disposition, qui est une application heureuse faite par M. d'Hamelincourt du principe mis en usage pour la ventilation des deux amphithéâtres du Conservatoire, permet de mêler de l'air frais à l'air chaud fourni par les conduits, pour modérer la température de celui-ci, ainsi que celle des salles. L'orifice d'arrivée de l'air froid plus dense, étant supérieur à celui de l'air chaud plus léger, le mélange des deux courants se fait nécessairement et immédiatement, sans que l'on ait à redouter aucune gêne pour les malades.

Pour la saison d'été, les orifices *ccc* et *c'c'c'* pouvant être ouverts, soit sur l'une des faces ou sur les deux faces du bâtiment,

et les sections des conduits étant calculées d'après les bases indiquées précédemment, l'introduction de l'air pourra être aussi abondamment assurée qu'on le voudra, indépendamment de toute ouverture des portes ou des fenêtres.

Pour l'évacuation de l'air vicié, M. d'Hamelincourt a disposé un orifice et un conduit *ddd* (*fig.* 1, 2 et 3) spécial pour chaque lit. On pourrait probablement, comme on le fait généralement, se contenter d'un conduit pour deux lits, ce qui diminuerait la dépense.

Tous ces conduits passent entre le plancher d'un étage et le plafond de l'étage inférieur, ce qui, par suite de la grande largeur des salles et de la hauteur qu'elle oblige à donner aux poutres en fer, ne conduirait pas à exagérer l'épaisseur totale des planchers.

La figure 3 représentant le plan du rez-de-chaussée montre comment les divers conduits se dirigent horizontalement, en restant isolés, vers la cheminée B d'évacuation. Ils sont séparés par des languettes prolongées jusqu'à cette cheminée.

Celle-ci (*fig.* 1 et 3) est elle-même partagée en trois parties par des languettes verticales suffisamment prolongées pour éviter les communications d'un étage à un autre, de manière qu'elle présente trois gaînes d'évacuation, dont chacune correspond à un étage.

Dans ces gaînes sont disposés des tuyaux de circulation d'eau chaude *eee* (*fig.* 3) communiquant avec un récipient général d'expansion *f* placé à la partie supérieure de la cheminée, et qui sert aussi pour la chaudière principale A.

Cette circulation, destinée à déterminer l'appel, est produite par une chaudière spéciale C (*fig.* 1).

Dans la saison du chauffage, le tuyau de fumée I (*fig.* 3) du calorifère, qui parcourt la cheminée dans toute sa hauteur, contribuerait et suffirait souvent à déterminer l'appel.

L'auteur du projet a supposé qu'à l'extrémité de chaque corridor on établirait une salle de bains, qui serait alimentée l'hiver à l'aide de la circulation générale de l'eau chaude ou par un dispositif spécial.

Les détails dans lesquels nous venons d'entrer suffisent pour faire comprendre les dispositions du projet et le jeu de la venti-

lation, tant pour l'évacuation de l'air vicié que pour l'admission de l'air nouveau, pendant l'hiver et pendant l'été.

L'on remarquera que, dans ce projet, l'appel est produit par un appareil complet de circulation d'eau chaude qui, d'après le devis, coûterait 3,425 fr. Si l'on voulait produire cet appel par de simples poêles, l'on pourrait diminuer la dépense d'environ 2,000 fr.; mais la dépense journalière de combustible compenserait probablement bientôt cette économie.

Au surplus, M. d'Hamelincourt a joint à son projet un devis détaillé des travaux spéciaux de fumisterie à la charge de l'entrepreneur; tous ceux qui seraient relatifs aux maçonneries resteraient à la charge de l'administration. Ce devis s'élève à la somme de 16,835 fr. 50 c.

Observations sur ce devis. — L'on voit que la dépense pour l'ensemble des travaux, tels qu'ils sont décrits plus haut, s'élèverait, pour un pavillon de 60 lits, à 16,835 fr. 50 c., ou par lit à 286 fr. Si l'appel était produit non plus par circulation d'eau chaude, mais à l'aide d'un fourneau spécial pour la saison d'été, la dépense d'installation pourrait être réduite d'environ 1,000 à 1,500 fr. Si l'on ne ménageait, comme cela paraît suffisant, qu'une bouche et un conduit d'appel pour deux lits, la dépense serait réduite encore de près de 400 fr., de sorte qu'elle ne s'élèverait en tout, pour les travaux de fumisterie proprement dits, qu'à 14,000 ou 15,000 fr., soit 240 ou 250 fr. par lit.

Cette description montre qu'à part quelques différences dans les dispositions adoptées, et l'influence qu'elles peuvent avoir sur les dépenses, les deux ingénieurs expérimentés auxquels les projets précédents ont été demandés, en s'inspirant des principes adoptés par le Comité d'hygiène et du service des hôpitaux, sont parvenus à proposer des dispositions assez analogues entre elles et à renfermer les dépenses dans des limites beaucoup plus restreintes qu'on ne l'avait fait jusqu'ici pour des installations aussi complètes.

Dispositions proposées par M. D'Hamelincourt pour des pavillons sans corridor.

Outre le projet qu'il a rédigé, à ma demande, pour un pavillon où un corridor servant de promenoir serait établi à chaque

étage, M. D'Hamelincourt a proposé, pour le cas où de semblables corridors n'existeraient pas, les dispositions représentées pl. 28, *fig.* 4, 5 et 6.

Le plan (*fig.* 6) qui est scindé en deux parties représente, par sa moitié de droite M, la disposition correspondante à la coupe suivant ABCD (*fig.*5), et par sa moitié de gauche N, celle qui répond à la coupe A′B′C′D′ (*fig.* 4).

Dans le premier dispositif (*fig.* 5 M et *fig.* 6), le chauffage a lieu, comme dans le projet précédent, par circulation d'eau chaude, au moyen de tuyaux qui s'élèvent verticalement dans des gaînes *a a a*, ménagées dans l'épaisseur des trumeaux entre deux lits et particulières à chaque étage. Ces gaînes pourraient être établies en saillie si l'on craignait d'affaiblir les murs. L'introduction de l'air chaud et celle de l'air froid, que l'on voudrait au besoin y mélanger, ont lieu, pour le premier, en bas des conduits par des orifices *c c c* (*fig.* 5), et, pour le second, par des orifices *c′ c′ c′*. Tous deux arrivent vers le plafond sous une inclinaison convenable.

Dans le dispositif (*fig.* 6 N et *fig.* 4), le chauffage a encore lieu à l'aide de l'eau chaude, mais elle ne circule pas dans les conduits et se rend seulement de la chaudière A dans des poêles à eau *ggg* placés dans les caves, et dont chacun est destiné au chauffage de l'air destiné à un même étage.

L'air nouveau devant, dans ce cas, affluer par le bas de chaque conduit, celui qui doit être chauffé ne peut plus être pris par des ouvertures ménagées dans les façades. M. D'Hamelincourt a supposé qu'il serait puisé par l'action de l'appel à une hauteur supérieure à celle du bâtiment au moyen d'une cheminée C (*fig.* 6) placée à l'extrémité opposée à celle où se trouve la cheminée d'évacuation B.

L'air introduit par cette cheminée C gagne deux grands conduits *h h h* (*fig.* 4), parallèles aux longues faces du bâtiment, placés dans les caves, construits avec soin en mortier hydraulique pour les mettre à l'abri de toute infiltration. Ces conduits sont parcourus, dans toute leur longueur, par les tuyaux d'arrivée et de retour *i i i* de l'eau chaude, sur lesquels sont branchées les communications avec les poêles *g g g*.

Ce dispositif de chauffage par circulation de l'eau, dans les parties inférieures du bâtiment, a l'avantage de faire disparaître

les craintes de fuites susceptibles d'altérer les murs, et, sous ce rapport, il pourra convenir à quelques administrations; mais il ne semble pas aussi économique, au point de vue de l'utilisation de la chaleur dépensée, que celui où toute la hauteur des conduits est parcourue par des tuyaux remplis d'eau chaude, avec lequel les fuites sont peu à craindre, quand l'on apporte le soin convenable à son établissement.

On remarquera d'ailleurs que le mode de prise d'air par une cheminée spéciale s'appliquerait aussi bien à l'autre dispositif, ainsi qu'au premier projet, si les conditions locales le faisaient juger nécessaire.

Dans le dispositif représenté pl. 28 (*fig.* 5 M et 6), l'évacuation de l'air vicié se fait par appel par en bas.

Au rez-de-chaussée (*fig.* 5 M et *fig.* 6), l'air vicié est aspiré sous le milieu des lits par des orifices *kkk* et se rend dans des conduits horizontaux *lll*, parallèles aux façades, lesquels débouchent dans un conduit transversal *mm*, qui mène l'air au bas de la cheminée générale d'évacuation B.

Pour le premier et le second étage, l'air est évacué par des orifices placés derrière chaque lit et descend par des conduits *nnn* (*fig.* 5 M et *fig.* 6), ménagés dans les trumeaux ou en saillie vers deux carneaux collecteurs *o* placés dans les caves et qui l'amènent au bas de la cheminée.

Il conviendrait que l'air affluent de chaque lit et de chaque conduit vertical fût, comme dans le premier projet, isolé de celui que les autres fournissent par des languettes disposées dans tous les conduits. Les coupes ne l'indiquent pas, mais cela doit être toujours sous-entendu.

De même, dans la cheminée générale, il serait convenable que l'air vicié affluant par les conduits *ll* du rez-de-chaussée fût séparé, au moins jusqu'à 5 ou 6 mètres de hauteur, de celui qui, par les conduits *oo*, placés plus bas, est venu des étages supérieurs.

Dans le dispositif (*fig.* 4 N et *fig.* 6), le mode adopté pour la circulation de l'eau chaude a permis de ne conserver pour l'évacuation de l'air vicié que les conduits *ooo*, pour la construction desquels on prendra les précautions indiquées ci-dessus.

Les deux dispositions proposées par M. D'Hamelincourt pour des pavillons sans corridor, et dans lesquels la ventilation se

fait par appel en contre-bas, ne conduiraient pas à une dépense plus élevée que celle du premier projet.

Les cheminées d'évacuation seraient, dans tous les cas, surmontées par un tuyau tournant à girouette pour profiter de l'action que le vent peut exercer à l'aide de cet appareil sur l'énergie de l'appel.

Application aux petits hôpitaux.

Outre les dispositions dont je viens de donner la description, j'en ai fait étudier deux autres, basées toujours sur les principes adoptés par le Comité consultatif d'hygiène et du service médical des hôpitaux, et particulièrement relatives aux petits hôpitaux, dans lesquels il n'y aurait que des salles de huit à dix lits. Les conditions d'économie dans lesquelles de semblables hôpitaux doivent être établis m'ont engagé à faire simplifier, autant que possible, l'installation des appareils.

Deux projets ont été étudiés, à ma demande, par M. D'Hamelincourt; mais dans l'un le chauffage est obtenu à l'aide d'un calorifère à eau chaude, sans circulation extérieure, et l'évacuation de l'air vicié des salles de malades, des lieux d'aisances et de la cuisine est produite par appel.

Je crois inutile de décrire les dispositions adoptées, et qui sont d'ailleurs conformes aux principes exposés précédemment, et je me bornerai à faire connaître que le devis des dépenses à faire pour l'installation et la fourniture des appareils de chauffage et de fumisterie ne s'élevait pas, pour :

Un hôpital de seize lits, répartis dans deux salles, à plus de. . . . . 200 fr. par lit.

Un hôpital de vingt lits, répartis dans deux salles, à plus de. . . . . 180 fr. —

Un autre projet, pour un hôpital des mêmes proportions, dans des localités où le prix du combustible permettrait l'emploi des cheminées ventilatrices, dont les effets ont été étudiés au Conservatoire, et qui sont décrites dans le n° 18 des *Annales* de cet établissement, comprenait, outre les cheminées établies dans chaque salle, un calorifère général à air chaud destiné au chauffage des corridors, des abords et des escaliers. Le devis total de

la dépense de fourniture et d'installation des appareils ne montait qu'à 120 fr. environ par lit.

L'on voit, par l'ensemble de ces études, que le chauffage et la ventilation des hôpitaux peuvent être obtenus, soit dans les établissements existants, soit dans ceux qui seraient à construire, avec des dépenses beaucoup moindres que celles auxquelles ils ont donné lieu à une époque où la question avait été moins étudiée et où l'art n'avait pas encore des règles assez bien établies d'après les données de l'expérience.

En terminant, je crois devoir rappeler que les travaux de maçonnerie relatifs à l'établissement des grandes cheminées et des conduits principaux ne sont pas compris dans les estimations précédentes, mais que, quand pour des constructions nouvelles on aura soin d'exécuter ces travaux en même temps que l'édifice principal, la dépense qu'ils occasionneront sera relativement peu considérable. A. M.

FLAMBAGE
DES BOIS ET DES ROCHES,

PAR M. A. PAYEN.

Dans un article précédent sur l'assainissement des vaisseaux et la conservation des charpentes, le 19 janvier dernier (n° 19 de ce recueil), nous avons décrit, page 373, un appareil inventé et construit par M. Hugon en vue de réaliser en grand avec économie la méthode du flambage des bois de M. de Lapparent [1]. Pour satisfaire aux demandes qui nous ont été faites et rendre plus facile à comprendre cette description, à laquelle d'ailleurs nous n'avons rien à changer, nous donnons ici le dessin exact de cet appareil, avec la légende explicative des pièces qui le composent; nous y avons ajouté une innovation du même auteur qui rend plus rapide, plus facile et plus économique de main-

1. Paris, 26 avril 1865.

« Monsieur,

« J'ai lu avec un vif intérêt le remarquable travail que vous avez publié dans le dernier numéro des *Annales du Conservatoire des arts et métiers*, sur la conservation des bois ouvrés par une légère carbonisation de leurs faces. Je suis très-heureux de l'approbation que vous avez bien voulu donner aux procédés dont j'ai fait la première application, dans les arsenaux de la marine, à la coque de nos frégates cuirassées; mais je crois devoir vous déclarer, afin de laisser à chacun ce qui lui appartient, que le *chalumeau à houille*, imaginé par M. Hugon, n'est pas seulement une ingénieuse modification du cubilot à air forcé qui figure dans mon Mémoire sur le dépérissement des bois. Un examen attentif de ce chalumeau, tel qu'il fonctionne avec tant de succès en ce moment, m'a démontré qu'il y avait une différence fondamentale entre les deux appareils, et que l'idée de M. Hugon, qu'il n'a rendue pratique qu'à la suite de longs essais et de beaucoup de dépenses, est originale et lui appartient en propre.

« Je vous serais très-obligé si vous vouliez bien faire insérer cette rectification dans le prochain numéro des *Annales*.

« Veuillez agréer, Monsieur, l'expression de mes sentiments de haute considération,

« DE LAPPARENT. »

d'œuvre le flambage des poteaux télégraphiques et, en général, des pièces de bois de forme cylindrique ayant un diamètre de 10 à 20 centimètres.

Cette disposition nouvelle, indiquée *fig.* 1, pl. 29, consiste principalement en une plaque de tôle M large de 30 à 40 centimètres, portée par une tige verticale qui est maintenue elle-même sur un appendice C au banc G, ou support général des pièces à flamber. A l'aide de cet appendice, placé devant le bec du fourneau, on peut sans peine exposer à la flamme du chalumeau les poteaux ou les autres pièces cylindriques; la flamme les entoure aussitôt grâce à la plaque courbe qui fait l'office d'une voûte à réverbère, de sorte qu'il suffit d'avancer graduellement et sans prendre la peine de les faire tourner sur leur axe, ces pièces devant le dard de flamme, pour que successivement toute la superficie cylindrique soit torréfiée au point convenable. Quant aux extrémités de ces pièces de bois, on les carbonise aisément en leur faisant éprouver une conversion à angle droit au moyen de la tige N, qui permet de faire tourner l'ensemble du support mobile, ainsi que la plaque courbe M, autour du point O.

L'administration des lignes télégraphiques, en faisant usage de plusieurs appareils ainsi perfectionnés, carbonise en moyenne avec chaque appareil 100 poteaux sur une longueur de deux à trois mètres.

Dans son chantier de Vierzon, la compagnie du chemin de fer de Paris à Orléans fait carboniser par jour 288 traverses avec quatre appareils. Le prix de revient s'est abaissé dans la première quinzaine de mai à 15^c,1 par traverse, chacune des traverses ayant nécessité $\frac{144 \text{ heures}}{288\ n \text{ de traverses}} = 0{,}5$, c'est-à-dire une demi-heure du travail d'un ouvrier, et $\frac{489 \text{ kil. de houille}}{288\ n \text{ des traverses}} = 1^{k},69$ d'une houille coûtant 15 fr. 25 c. les 1,000 kil. Ces données sont conformes à l'état ci-contre des opérations dirigées par les ingénieurs de la Compagnie.

Le fourneau étant la seule pièce qui se détériore assez rapidement, on a évalué la dépense pour l'usure de cette partie et l'intérêt du prix de l'appareil à 1 centime à peu près par chaque traverse torréfiée.

CHEMIN DE FER DE PARIS A ORLÉANS.

SERVICE DES INGÉNIEURS. — CHANTIER DE VIERZON, — PREMIER ARRONDISSEMENT.

État des traverses carbonisées à Vierzon.

DATES.	HEURES employées à la carbonisation.	PRIX de l'heure.	DÉPENSE par jour pour main-d'œuvre.	POIDS du charbon employé par jour.	PRIX du charbon.	DÉPENSE par jour pour charbon.	DÉPENSES diverses.	DÉPENSES totales par jour.	NOMBRE de traverses carbonisées par jour.	PRIX de revient par traverse.	OBSERVATIONS.
				litres.	le litre.	fr.		fr.		fr.	
Du 11 au 31 janvier...	120	0.25	30	625	0.025	15.625	»	45.625	165	0.277	La dépense pour installation des 4 appareils et l'établissement des baraques s'élève à 219 fr. 54. Cette somme sera à reporter sur la totalité des traverses.
1 au 10 février ..	120	0.25	30	444.5	0.025	11.11	»	41.11	166	0.248	
				kilogrammes	le kilogramme						
11 au 28 février...	120	0.25	30	400	0.01525	6.10	»	36.10	190	0.190	
1 au 15 mars....	132	0.25	33	436	0.01525	6.83	»	39.83	220	0.180	
16 au 31 mars....	132	0.25	33	440	0.01525	6.71	»	39.71	230	0.173	
Du 1er au 30 avril — Intermédiaires.	144	0.25	36	476	0.01525	7.25	»	43.25	280	0.154	
Joints.	144	0.25	36	470	0.01525	7.16	»	43.16	188	0.230	
Longrines....	144	0.25	36	240	0.01525	3.66	»	39.66	48	0.826	Les longrines étant à 100m de distance, c'est ce qui en a augmenté le prix.
Du 1er au 15 mai....	144	0.25	36	480	0.01525	7.46	»	43.46	288	0.151	

Pour copie conforme :

L'ingénieur du matériel fixe, *Signé* : FEDOU.

Vierzon, le 15 mai 1865.

Le chef de la 3e section, *Signé* : VIVIEN.

Le prix de revient d'un appareil semblable à ceux dont la compagnie du chemin de fer d'Orléans fait usage depuis plusieurs mois est de 1,000 fr., en y comprenant deux fourneaux dont un est destiné à servir de pièce de rechange.

Des appareils de plus grande dimension ont été livrés dernièrement aux compagnies de chemins de fer, ainsi qu'à l'administration des lignes télégraphiques; ils devront procurer une économie notable sur la main-d'œuvre, car l'ouvrier souffleur fait fonctionner aussi rapidement un gros soufflet qu'un plus petit, tandis que le volume d'air injecté et par suite la flamme produite se trouvent doublés. L'ouvrier carboniseur, de son côté, dirige le fourneau tout aussi facilement avec le gros modèle, et la flamme embrassant une plus grande superficie, la traverse comme le poteau télégraphique passe d'autant plus vite et s'achève en moins de temps. On comprendra l'intérêt que présente cette nouvelle disposition en se rappelant que les frais de la main-d'œuvre ont représenté jusqu'ici les deux tiers environ de la dépense totale.

Légende de l'appareil de carbonisation, planche 29.

Fig. 1. Appendice se montant sur le plateau C (*fig.* 2) pour la carbonisation superficielle des poteaux télégraphiques.

M, plaque courbe en tôle de 30 à 40 centimètres de largeur.

N, tige ou poignée pour imprimer le mouvement de rotation.

O, boulon dont l'axe forme centre de rotation de l'ensemble M N O.

Fig. 2. Coupe verticale, et 3, élévation de l'appareil.

A, fourneau dans lequel s'effectue la combustion de la houille flambante.

A′, porte de la base de chargement surmontant le fourneau.

B, colonne mobile portant le fourneau et permettant de le faire mouvoir verticalement au moyen du levier P Q à contrepoids R, ou horizontalement autour de l'axe de la colonne B.

C, plate-forme dans laquelle passe la colonne B qui porte le fourneau.

D, soufflet à double vent, insufflant l'air au bas du fourneau par l'intermédiaire d'un réservoir D′ et d'un tube flexible en *caoutchouc d*, *d*, *d*.

E, réservoir d'eau.

F, robinets, l'un ouvrant la communication avec le réservoir, l'autre servant à régler la quantité d'eau qu'on veut injecter.

ff, tube amenant l'eau dans l'ajustage K, sur le trajet du courant d'air.

G, banc en bois sur lequel est boulonné le bâtis en fer qui porte les rouleaux servant à faire mouvoir les traverses à carboniser.

H, traverse ou charpente à carboniser, qui se meut horizontalement sur les deux rouleaux I.

APPLICATION DE L'APPAREIL DE M. HUGON A LA DÉSAGRÉGATION DES ROCHES.

Dans l'exploitation des mines, ou dans certains travaux de tranchées des chemins de fer, on se trouve souvent en présence de roches quartzeuses ou autres, d'une dureté telle que les trous de mines ne peuvent y être pratiqués qu'à l'aide d'un long et pénible travail; d'ailleurs, si la roche est très-compacte, la poudre n'enlève que de faibles blocs. — Aussi un assez grand nombre de mines sont-elles abandonnées par suite du prix de revient trop élevé de l'extraction des minerais au moyen de la poudre; — et certaines tranchées de chemins de fer ont-elles coûté un temps très-long et beaucoup d'argent. Ces dépenses auraient pu être amoindries en y appliquant d'autres procédés.

Dans des temps reculés, lorsque les roches étaient trop résistantes aux outils employés alors, on s'est servi du feu pour faire éclater ces roches. — Le bois était apporté et amoncelé sur les faces qu'on voulait attaquer ainsi, le feu était mis au combustible qui brûlait pendant un temps plus ou moins long, en faisant éclater la roche par fragments. — Le feu éteint et la roche refroidie, soit naturellement, soit au moyen de l'eau, on la trouvait plus ou moins fissurée. Les parties désagrégées étaient facilement abattues, puis l'on recommençait de nouveau l'attaque de la roche vive par le feu. L'ancienne méthode d'exploitation des mines à l'aide du feu est indiquée dans l'ouvrage latin d'Agricola intitulé : *De re metallica*, ouvrage traduit en langue toscane par Michel-Ange (l'édition publiée le 12 mars 1563 se trouve dans la Bibliothèque de l'Institut).

On trouvera également d'intéressants détails sur cette méthode, employée au dix-neuvième siècle, dans le traité publié par Héron de Villefosse en 1819, intitulé : *Richesse minérale*, où se trouve décrite l'exploitation du filon du Rammelsberg, au Hartz, t. II, p. 298, pl. 2; nous en citerons ici quelques passages : On lit, p. 303 : « Le boisage se maintient longtemps en bon état, sans frais considérables, parce que l'air chaud de cette mine exploitée par le feu la préserve de l'humidité : c'est par ce motif que plusieurs anciens puits subsistent encore, quoiqu'ils soient devenus inutiles[1]. »

Les moyens mis en usage sont ainsi clairement indiqués p. 304 à 305 : « Voyons comment s'exécute le travail par le feu :

« A partir du point auquel on est parvenu par un petit puits foncé dans le gîte du minerai, suivant son inclinaison où commence la galerie de traverse dans la roche par le moyen du tirage à la poudre. . . . .

« Dans le travail par le feu il faut distinguer : 1° le cas où il s'agit de commencer une voûte à partir de son sol ; 2° le cas où, une voûte ayant déjà une certaine hauteur, il s'agit d'en élever encore le faîte. Dans le premier cas, on entame d'abord le mur du gîte de minerai à l'aide du tirage à la poudre : quand ce dépouillement est exécuté sur une certaine longueur parallèle à la direction, on dispose sur le sol un premier lit horizontal de bûches de sapin, et par-dessus on place d'autres bûches presque verticales qui s'appuient contre le minerai, de sorte que la flamme en se développant s'applique sur la partie qu'il faut entamer. Lorsque, après quelques opérations semblables, la flamme n'atteint plus le minerai du faîte qui commence à s'exhausser, on élève une petite terrasse de déblais au mur du gîte, et c'est alors sur cette terrasse qu'on dispose un bûcher comme ci-dessus.

« Les anciens mineurs commettaient la faute de placer constamment de telles terrasses au toit et, par conséquent, de dis-

1. Il est bien évident que ce n'était pas seulement la dessiccation qui, dans ce cas, conservait ces pièces de bois, car les boisages abandonnés ne pouvaient manquer d'absorber de nouveau l'humidité de l'air. On doit attribuer leur résistance aux produits goudronnés que la fumée avait déposés à leur surface, et qui s'opposaient aux attaques des ferments, des insectes et des végétations cryptogamiques, de même que cela se remarque dans les procédés de flambage des bois ci-dessus décrits.

poser les bûchers contre cette partie du gîte, de manière que la flamme circulait du toit vers le mur; il en résultait l'affaiblissement du toit et la perte de beaucoup de minerai..... De plus, on brûlait beaucoup plus de bois qu'aujourd'hui, parce que l'action de la flamme se perdait en partie dans la masse du toit, au lieu de se concentrer sur la portion de minerai qu'il s'agissait de faire éclater.

« Quant au deuxième cas, on fait toujours en sorte qu'entre le faîte de la voûte et les déblais sur lesquels on établit le bûcher il n'y ait pas plus de 2 mètres de hauteur, afin que la flamme embrasse également toute la concavité de la voûte et produise un effet uniforme sur toutes ses parties. . . . .

« C'est principalement le samedi que le feu est appliqué à tous les bûchers disposés dans la semaine; on commence à faire brûler ceux des étages supérieurs de l'exploitation, afin que les bûchers inférieurs ne nuisent pas à la combustion des premiers.

. . . .

. . . .

« C'est ainsi que le feu volatilisant tout à coup quelques principes tels que le soufre, le zinc, l'arsenic et l'eau, changeant par là l'état d'agrégation des parties constituantes du minerai et déployant contre elles la force expansive des principes volatilisés, facilite l'excavation dans ces matières dont la ténacité résiste à l'effet de la poudre.

« La combustion dure, sans que personne entre dans la mine, depuis le samedi jusqu'au lundi matin, jour auquel le garde feu et ses aides achèvent d'éteindre les restes des brasiers.

« Le lundi, on dispose encore quelques bûchers dans les parties où l'effet des premiers n'a pas été complet, on les allume après que les ouvriers sont sortis de la mine..... et l'on s'occupe dès le mardi de détacher les minerais, de les trier, de les extraire et de préparer de nouveaux bûchers pour le samedi suivant. »

Ces moyens, qu'on a presque complétement abandonnés depuis les applications de la poudre, ont été remplacés parfois dans quelques mines par un fourneau rectangulaire duquel la flamme sortait sous la pression produite par le simple tirage dû à la combustion; — c'est-à-dire presque sans vitesse et sans force, donnant des résultats qui laissaient beaucoup à désirer.—Dans une multitude de cas, les moyens de ventilation ordinaires qui

existent pour certaines galeries de mines ne permettaient même pas l'emploi de ce procédé.

Aussi l'usage du feu est-il abandonné aujourd'hui dans presque toutes les exploitations; et pourtant il est facile de se rendre compte qu'au moyen d'une flamme qu'on dirige à volonté *et qui est vivement projetée* contre les faces de roches dures inexploitables industriellement par la poudre, on puisse obtenir de très-bons résultats. On procède d'ailleurs de la manière suivante, d'après les données fournies par l'inventeur.

On se sert d'un fourneau en fonte de dimensions variables selon les circonstances.

Celui qui est représenté en A, *fig.* 4, a $1^m,20$ de largeur, $1^m,20$ de longueur. Sa hauteur du côté de la roche qu'on veut attaquer est de $0^m,70$, et seulement de $0^m,40$ du côté de l'arrivée de l'air, ce qui représente une embouchure totale de 70^c de large sur 40^c de haut partagée en deux par une barre transversale destinée à retenir la houille. Ce fourneau est monté sur quatre roues ou galets roulant sur deux rails. Les roues sont disposées de telle sorte qu'on puisse, au moyen d'un levier placé à l'arrière, incliner le fourneau, afin que la flamme lèche le plan inférieur de la galerie lorsque cela est utile. Cette sorte de foyer roulant est en communication à sa partie antérieure H avec une conduite d'air comprimé, — provenant soit d'un ventilateur, soit de toute autre soufflerie, — qui amène la quantité d'air atmosphérique nécessaire à une combustion très-rapide. (Voyez ci-après la légende.)

L'allumage du combustible s'effectue en quelques instants, en enflammant d'abord de menus morceaux de bois sec sur lesquels on place la houille; on fait arriver l'air doucement au moyen de la soufflerie et du registre à papillon G, situé entre la conduite d'air et le fourneau; on continue à charger graduellement le fourneau de houille par la porte B, au fur et à mesure que le bois se consume. Lorsque le feu est bien développé dans toute la masse, ce qui a lieu au bout de 15 à 20 minutes, on avance le fourneau près du front que l'on veut attaquer, et l'on fait arriver rapidement l'air comprimé : celui-ci emportant de légères gouttes d'eau injectées par le robinet F et qui se décomposent comme dans l'appareil à torréfier les pièces de bois. La flamme sort alors comme d'un immense chalumeau

en embrassant le front de la galerie; au bout de peu d'instants les esquilles et fragments de roches commencent à éclater et à tomber sans interruption dessous et dessus le fourneau. L'homme qui dirige ce fourneau et l'alimente de combustible doit, lorsque la roche est très-dure, protéger son visage avec un masque en treillage solide de fil de fer (analogue aux masques grillagés des salles d'armes) ou tout autre moyen. Faute de cette précaution, les petits fragments de roche éclatant avec une extrême violence pourraient blesser grièvement l'ouvrier. Avec un ringard, celui-ci retire les roches qui tombent, et lorsqu'il voit de fortes fissures se produire, il recule le fourneau. On refroidit alors, s'il y a lieu, par des aspersions d'eau, faites au moyen d'une conduite d'eau forcée, ou d'une pompe à main. On abat les roches désagrégées, puis on les enlève et l'on avance de nouveau le fourneau près de la face qu'il s'agit d'attaquer de la même manière. On peut employer dans ce fourneau toute espèce de combustible capable de produire une flamme volumineuse. Nous nous empressons d'ajouter que les hommes chargés d'exécuter ce travail doivent recevoir abondamment, au moyen de tubes spéciaux, l'air nécessaire à la respiration, lorsqu'ils sont placés dans des galeries où la ventilation serait insuffisante pour éliminer assez promptement l'air vicié et ramener en même temps l'air pur du dehors en quantité convenable.

Le système que nous venons de décrire peut être employé très-avantageusement dans certaines parties des tranchées ou tunnels des chemins de fer traversant des roches difficilement attaquables par la poudre.

Dans ces cas spéciaux, les dimensions des fourneaux, la ventilation et l'arrivée de l'air doivent être proportionnées aux exigences locales.

L'effet utile produit par le système de flamme comprimée appliqué à l'exploitation des roches rebelles, rapproché des effets que l'on obtient du feu ordinaire, dans les conditions où on l'a employé jusqu'ici, est tout à fait comparable aux avantages que l'on réalise dans la torréfaction ou carbonisation superficielle du bois; c'est-à-dire qu'avec 1 kil. de houille dépensé dans l'appareil à torréfier ci-dessus décrit on carbonisera une surface égale à 10. Tandis qu'avec 1 kil. de houille brûlant dans des fours ou foyers ordinaires on carbonisera seulement

une surface égale à 2 ou à 5 et encore en employant, dans ce dernier cas, un temps deux fois plus long.

Il en est de même des résultats obtenus pour l'exploitation de certaines espèces de roches, comparés non-seulement à ceux que donne la flamme ordinaire, mais aussi aux effets de la poudre. Le four-chalumeau peut doubler, tripler, décupler parfois le travail de la poudre dans le même temps, et combinés judicieusement tous deux à tour de rôle, suivant la nature des roches à désagréger ou abattre, ils peuvent en certains cas apporter une économie décisive dans des exploitations considérées aujourd'hui comme trop coûteuses pour être continuées. En opérant, suivant ce nouveau procédé, sur une roche quartzeuse dans les mines d'Échallanges (plomb argentifère), on a pu abattre en 54 heures une masse de galerie ayant $1^m,53$ de profondeur et une surface de $1^m,30$ de largeur sur 2 mètres de hauteur.

Légende de l'appareil pour le flambage des roches (pl. 29, *fig.* 4).

A, fourneau (avec ou sans grille) contenant le combustible.

B, porte de chargement.

C C, quatre galets roulant sur deux rails pour avancer ou reculer le fourneau.

E, conduit amenant l'air dans le foyer.

F, robinet faisant communiquer avec un réservoir supérieur et servant à régler la quantité d'eau à injecter sur le trajet du vent.

G, clef (soupape à papillon) servant à intercepter l'arrivée de l'air du ventilateur.

Fig. 5. Ventilateur pour l'insufflation de l'air dans le foyer A. (Ce ventilateur peut être remplacé par une soufflerie quelconque.)

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

FAITES

au Conservatoire impérial des arts et métiers

SUR LE VENTILATEUR DOUBLE DE M. PERRIGAULT,

PAR M. H. TRESCA.

M. Perrigault, mécanicien à Rennes, a adressé au Conservatoire un ventilateur à aubes planes, pouvant amener la pression de l'air jusqu'à celle qui est mesurée par une colonne d'eau de $0^m,75$.

Ce résultat, très-important pour les forges, étant de nature à étendre les applications du ventilateur, instrument par lui-même très-simple et d'une facile installation, nous avons fait sur cet appareil quelques expériences qui ont vérifié les indications annoncées par l'inventeur.

Le ventilateur de M. Perrigault est double, c'est-à-dire qu'il se compose de deux ventilateurs simples disposés de telle façon que le produit de l'insufflation du premier vient alimenter le second, qui agit alors sur de l'air déjà comprimé et qui augmente à son tour cette compression dans une proportion considérable.

Les tambours des deux ventilateurs sont des cylindres à section presque circulaire, mais excentrés par rapport à l'axe des volants. Cette forme circulaire est nécessairement modifiée dans le voisinage des conduites d'échappement. Les volants ont $0^m,60$ de diamètre et portent chacun huit palettes équidistantes formant rayon. Le jeu autour des palettes va en augmentant, depuis l'entrée jusqu'à la sortie, de $0^m,04$ à $0^m,10$. L'ouverture d'admission au centre a $0^m,26$ de diamètre, et celle du second tambour est raccordée au tuyau d'expulsion du premier par un

tuyau de même section que l'on a contourné de manière à atténuer autant que possible les perturbations qu'il doit nécessairement produire.

La largeur de chacun des tambours est de $0^m,125$, mais celle des ailettes est moindre, $0^m,075$.

Le mouvement se transmet à l'arbre commun des deux volants à l'aide d'une poulie placée entre les deux tambours, écartés l'un de l'autre de $0^m,225$.

La poulie a un diamètre de $0^m,092$, et la largeur de sa couronne est de $0^m,130$.

L'arbre est porté sur de larges paliers dans lesquels on a donné aux coussinets une longueur sextuple du diamètre des collets. On sait que l'exagération de cette dimension est très-favorable au fonctionnement de tous les arbres à grandes vitesses.

Dans les expériences, le mouvement était transmis à la poulie du ventilateur par l'intermédiaire d'un dynamomètre de rotation à styles, dont la poulie avait un diamètre de $0^m,82$. On a pu obtenir de bons tracés jusqu'à la vitesse de trois cents tours de cet instrument.

Le nombre des tours était compté par un compteur mécanique monté sur l'arbre du dynamomètre.

Pour connaître l'effet produit, on a chaque fois placé devant la tuyère un tube ouvert à ses deux extrémités et courbé de manière à présenter sa bouche devant l'axe de la tuyère et à permettre la double lecture des niveaux du liquide coloré qui devait servir à mesurer la hauteur du liquide soulevé dans le tube.

Deux séries d'expériences ont été faites : l'une avec une tuyère dont le diamètre $d = 0^m,068$, ce qui correspond à une section libre de passage $s = 0^{mq},0033$, en adoptant pour cette base conique un coefficient de réduction de 0,9. Pour l'autre série, on a $d' = 0^m,102$, et, par l'adoption du même coefficient, $s' = 0^{mq},00735$.

Voici toutes les indications qui résultent des déterminations faites pendant les expériences :

Tableau des expériences faites sur le ventilateur double de M. Perrigault.

Nos des expériences	NOMBRE DE TOURS par minute. Ventilateur.	NOMBRE DE TOURS par minute. Dynamomètre.	VITESSE à la circonférence.	AUTEUR d'un soliveau h.	RACINE CARRÉ de h.	VITESSE calculée correspondante.	ORDONNÉES moyennes des diagrammes.	EFFORTS correspondants.	TRAVAIL MOTEUR mesuré.	VALEURS de $\frac{MV^2}{2}$.	RAPPORT.	VALEURS de $P : p$.	COEFFICIENT du rendement.
	1re SÉRIE. — Buse dont le diamètre est $d = 0^m.068$.									**(10 février 1865.)**			
			mill.	m.		m.	m.	kil.	k. m.				
1	1596	307	50.11	0.490	0.700	86.10	»	»	»	134.03	»	1.047	»
2	1446	278	45.40	0.420	0.648	79.70	»	»	»	107.99	»	1.040	»
3	1706	328	53.57	0.523	0.723	88.93	»	»	»	147.68	»	1.051	»
4	1326	255	41.63	0.328	0.573	70.48	5.86	16.99	186.01	73.52	0.395	1.032	0.407
5	1290	248	40.62	0.320	0.570	70.11	5.84	16.93	179.35	72.36	0.403	1.031	0.415
6	1180	227	37.05	0.263	0.512	62.98	»	»	»	52.45	»	1.025	»
7	1212	233	37.97	0.276	0.525	64.58	6.42	18.62	186.30	56.56	0.304	1.026	0.310
8	1596	307	50.00	0.480	0.692	85.12	7.08	20.53	270.61	129.51	0.478	1.046	0.500
9	1908	367	59.91	0.735	0.857	105.41	»	»	»	245.95	»	1.070	»
			46.24	0.426		83.71				0.395			0.408
	2e SÉRIE. — Buse dont le diamètre est $d' = 0^m.102$.									**(15 février 1865.)**			
10	1206	232	37.86	0.235	0.485	59.65	8.54	24.75	246.33	101.80	0.416	1.010	0.418
11	1466	282	46.03	0.340	0.583	71.71	10.10	29.27	354.05	176.50	0.497	1.034	0.512
12	1622	312	50.93	0.400	0.632	77.74	13.22	38.32	512.91	225.00	0.440	1.040	0.457
			44.94	0.325		69.72				0.448			0.485

Ces renseignements doivent être complétés par une explication sur chacune des colonnes du tableau.

Le nombre de tours du dynamomètre par minute a été estimé directement par la lecture au compteur. Au moment où la colonne d'eau devenait stationnaire, on notait le chiffre indiqué par le compteur, et on le débrayait à un signal distant du premier d'un nombre exact de minutes.

Les nombres de la deuxième colonne sont déduits de ceux de la troisième, en les multipliant par 5.2. Ce rapport est déduit du rapport des diamètres des poulies, en ajoutant à chacun des diamètres réels la demi-épaisseur de la courroie $0^m,0095$, ce qui donne

$$\frac{0^m.82 + 0^m,0095}{0^m.15 + 0^m,0095} = 5.2$$

Les chiffres de la quatrième colonne sont déduits des précédents en les multipliant par la circonférence des ailettes et en divisant par 60 pour avoir la vitesse réelle de l'extrémité de ces palettes en mètres par seconde. Cette vitesse a atteint près de 60 mètres dans la dernière expérience de la première série.

La hauteur résulte de l'observation directe des niveaux dans le manomètre à eau formant tube de Pitot, placé au centre de la base, où il pénétrait à 1 centimètre à peu près de profondeur.

Pour connaître la vitesse de l'air qui correspond à cette pression, il faut calculer l'expression

$$\sqrt{2gh\frac{1000}{1.293}} = \sqrt{\frac{2000\,g}{1.293}}\,\sqrt{h} = 123\,\sqrt{h}.$$

Les valeurs de $\sqrt{h}$ forment la sixième colonne, et l'on a réuni dans la septième celles de la vitesse calculée comme il vient d'être dit. Cette vitesse de l'air a varié de 60 à 100 mètres par seconde.

Nous n'avons obtenu à l'aide du dynamomètre que sept bons diagrammes qui nous ont fait connaître l'ordonnée moyenne représentant l'effort moyen, cet effort lui-même à raison de $2^k,8984$ par millimètre des ordonnées, et enfin le travail moteur

dépensé en multipliant chacun de ces efforts moyens par la vitesse à la circonférence de la poulie du dynamomètre, soit par

$$\pi D \times \frac{n}{60} = \frac{3.14 \times 0^m.82}{60} \times n = 0,0429\, n,^m$$

n étant le nombre de tours par minute.

A supposer que le travail réellement emmagasiné par l'air soit bien celui qui correspond à la vitesse due à la hauteur h, on obtient facilement une mesure de ce travail par le produit

$$\frac{M V^2}{2} = \frac{S V (1.293) \frac{P}{p} V^2}{19.61},$$

ou négligeant pour un instant le rapport $\frac{P}{p}$ des pressions de l'air à l'intérieur et à l'extérieur de l'appareil,

$$\frac{1.293}{19.61} \times S V^3$$

en mettant pour S sa valeur S ou S', suivant les cas, on trouve,

pour la première série,

$$\frac{M V^2}{2} = \frac{1.293 \times 0,0033}{19.61} V^3 = 0,00021\, V^3,$$

et pour la seconde,

$$\frac{M V^2}{2} = \frac{1.293 \times 0,00735}{19.61} = 0,00048\, V^3,$$

expressions qui nous ont servi à calculer les chiffres de la onzième colonne du tableau.

Si ces chiffres représentent la véritable valeur du travail emporté par l'air au sortir de la machine, on obtiendra le coefficient d'utilisation en les divisant par les chiffres correspondants de la colonne précédente.

En calculant de cette façon, on trouve que, pour la première série, cet effet utile varie de 0.304 à 0.478; il est en moyenne de 0.395; et que, pour la seconde, les chiffres sont plus concordants et fournissent une moyenne plus élevée, 0.448.

En réalité, les valeurs de $\frac{MV^2}{2}$ sont un peu plus grandes, par suite du facteur $P:p$ que nous avons négligé. La pression extérieure p, mesurée en eau, est exprimée par $10^m.33$; la pression intérieure P est mesurée par $10.33+h$, si on la considère au point où la compression est maxima. On a donc $P:p=\frac{10.33+h}{10.33}$, et les valeurs ainsi calculées pour chaque expérience ont été réunies dans la colonne 13.

Pour tenir compte de la valeur de ce rapport dans le coefficient d'utilisation ou d'effet utile, il suffira de multiplier respectivement les deux nombres l'un par l'autre, ce qui fournit les chiffres de la quatorzième colonne et ce qui nous conduit à admettre pour le rendement moyen accusé par nos expériences :

Pour la première série. 0.408
Et pour la seconde. 0.485

Le mode de calcul qui précède revient en définitive à admettre que le tube de Pitot, employé comme nous l'avons fait, donne, par la dénivellation, la mesure exacte de la compression qui détermine l'écoulement.

M. Bourget a fait récemment des expériences sur l'exactitude de ces indications, et nous pensons avec lui que ce mode d'observation est le plus exact de tous ceux que l'on pourrait employer lorsque la vitesse est trop grande pour qu'on puisse faire usage d'anémomètres tarés.

Notre mode de calcul a en outre l'avantage de donner un résultat tout à fait indépendant de la résistance des conduites que l'on aurait à employer pour les applications. Il donne, suivant nous, la juste mesure de la valeur de l'appareil considéré en lui-même, absolument comme on détermine le travail d'une machine à vapeur ou d'une roue hydraulique sur l'arbre moteur, séparé de ses transmissions.

Tous les calculs ont d'ailleurs été vérifiés par M. Joseph Farcot, qui a bien voulu se joindre à nous pendant les essais.

En dehors de cette appréciation de détail, les expériences dont il vient d'être rendu compte établissent :

1° Que dans la première série d'expériences, la colonne d'air a refoulé l'eau dans le tube manométrique, jusqu'à établir une

dénivellation de 0m.735 pour une vitesse du volant de 1,908 tours par minute. Que dans la deuxième série, cette dénivellation ne s'est élevée qu'à 0m.400 pour une vitesse de 1,622 tours du volant ;

2° Que, par conséquent, le ventilateur double de M. Perrigault peut fournir industriellement des pressions d'air, mesurées par 0.735 et 0.400 d'eau, c'est-à-dire des pressions beaucoup plus grandes qu'avec les ventilateurs ordinaires.

Cette augmentation de pression est due à ce que l'air expulsé par le premier volant est introduit dans le second tambour, sous une pression déjà notablement plus grande que la pression atmosphérique, et que, dans cet état, le second volant opère sur de l'air déjà comprimé ;

3° Qu'au moyen de cette combinaison, la vitesse de l'air à la sortie du second tambour est moins que double de la vitesse des palettes à leur circonférence, et qu'elle augmente en même temps qu'elle. Le rapport moyen entre ces deux vitesses est 83.71 : 46.24 = 1.81 ;

4° Que dans la seconde série, et par suite de l'augmentation de l'ouverture de la tuyère, ce rapport, qui se réduit à 69.72 : 44.94 = 1.55, démontre encore que la vitesse de l'air insufflé est notablement plus grande que la vitesse à la circonférence des palettes ;

5° Qu'en conséquence, la disposition double adoptée par M. Perrigault rend le ventilateur à palettes planes applicable dans des conditions de pression que l'on n'obtenait jusqu'ici qu'avec les autres machines soufflantes.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des arts et métiers,

Paris, le 1er juillet 1865.

H. TRESCA.

Vu : le directeur, Général MORIN.

Légende de la planche 30.

La figure 1 est un plan du double ventilateur et de sa plaque de fondation.

La figure 2 en est l'élévation sur un plan perpendiculaire à l'axe.

La figure 3, une coupe et une élévation dans le sens perpendiculaire.

A A est la plaque de fondation de l'appareil sur laquelle sont assujettis les deux paliers B B.

C C, arbre moteur tournant dans les coussinets *cc* auxquels on a donné une grande largeur.

D D', volants à 8 ailettes calés sur cet arbre.

E, poulie motrice placée entre ces volants.

F F', tambours excentrés formant les enveloppes des volants et constituant avec eux les deux ventilateurs.

L'air est aspiré par l'orifice circulaire O du tambour E.

Il est entraîné dans le mouvement des ailettes et conduit par leur action dans le tuyau P P' qui aboutit à l'orifice circulaire O' d'admission dans le second ventilateur.

p, regard servant au graissage, ménagé sur ce tuyau P P'.

L'air est ensuite entraîné par le volant D' et refoulé par lui dans la base ou conduit d'échappement Q.

On voit par ces indications que l'appareil se compose d'un ventilateur à aubes planes D E qui souffle dans un autre ventilateur D' F', d'un diamètre un peu plus grand.

Le mouvement de l'air est d'ailleurs indiqué, sur les trois figures, par des flèches.

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES DE TRACTION

FAITES SUR

DEUX FILS D'ACIER DE 2$^{mil.}$.67 DE DIAMÈTRE,

PAR M. H. TRESCA.

M. Micholon a présenté au Conservatoire des fils d'acier de 2$^{mil.}$,67 de diamètre, obtenus à l'usine de Clichy par le procédé qu'il a fait breveter, en exprimant le désir que des expériences soient faites sur la résistance de ces fils à la traction.

Le procédé de M. Micolon repose sur l'emploi des déchets d'acier de toutes provenances, qui sont refondus dans des creusets avec addition de fondants spéciaux.

Pour l'exécution des expériences, nous avons utilisé l'installation au moyen de laquelle nous avons déjà, dès 1859, fait des essais analogues sur des fils de fer.

Les fils ont été suspendus à un bâti placé dans le comble de la salle des expériences, et à proximité d'un cathétomètre indépendant, reposant sur la charpente inférieure du comble. Ce premier cathétomètre visait un repère fixe, tracé sur une petite mouche de papier collée sur le fil, de manière à faire connaître à chaque instant la position de ce repère par rapport à sa position primitive.

Le même fil supportait, à peu de distance du sol, un plateau que l'on chargeait progressivement, et une mouche semblable à la première était également collée sur le fil à une petite distance de l'attache. Les déplacements de ce second repère étaient observés à l'aide d'un cathétomètre placé sur le sol, et permettant, comme le premier, de lire les centièmes de millimètre.

Les points d'appui des deux cathétomètres étant absolument invariables, la différence entre les déplacements des lunettes,

après chacun des chargements, donnait exactement la mesure de l'allongement produit dans la portion du fil comprise entre les deux repères, et ce sont ces différences qui sont inscrites, sous le titre d'allongements partiels, dans le tableau suivant.

Nous attachons à ce mode d'expérimentation une certaine valeur de précision, surtout parce que, la longueur comprise entre les repères pouvant être de 25 mètres environ, chaque centième de millimètre indiqué par les lectures ne représente que

$$0^{m},00001 : 25 = 0,0000004,$$

ou quatre dix millionièmes de la longueur totale de la pièce qui concourt à l'évaluation du résultat.

Les observations ont d'ailleurs été faites assez rapidement pour que la température de la salle ne se soit pas modifiée d'une manière sensible.

Le fil, encore courbé par suite de sa mise en rouleau, ne se redressait complétement qu'après les premières charges, et c'est seulement à partir de ce redressement que les chiffres résumés dans le tableau suivant présentent un véritable intérêt.

Dans la première expérience, celle du 5 juillet, l'attache du bas s'est déroulée avant que l'on ait atteint la charge de rupture, mais les observations sont assez nombreuses pour servir à la détermination du coefficient d'élasticité et de la limite des allongements proportionnels. La seconde expérience, du 12 juillet, a été prolongée jusqu'à rupture. Cette rupture a eu lieu à 10 centimètres environ du point d'attache supérieur, mais l'étirage qui s'est produit à la section de striction ne laisse aucun doute sur les circonstances, parfaitement régulières, qui ont accompagné le phénomène.

Tableau des expériences de traction faites sur deux fils d'acier de $2^{mil.}$,67 de diamètre.

Expérience du 5 juillet 1865.				Expérience du 12 juillet 1865.			
NUMÉROS des CHARGEMENTS.	POIDS CORRESPONDANTS.	ALLONGEMENTS PARTIELS.	ALLONGEMENTS TOTAUX.	NUMÉROS des CHARGEMENTS.	POIDS CORRESPONDANTS.	ALLONGEMENTS PARTIELS.	ALLONGEMENTS TOTAUX.
	kil.	mil.			kil.	mil.	
1	5.30	0	»	1	5.30	0	»
2	16.00	»	»	2	16.00	13.72	13.72
3	16.00	»	»	3	16.00	4.23	17.95
4	11.88	»	»	4	11.88	2.97	20.92
5	11.88	2.70	6.26	5	11.88	2.96	23.88
6	11.88	3.36	9.62	6	11.88	2.80	26.68
7	11.88	1.10	10.72	7	11.88	2.24	28.92
8	11.88	2.86	13.58	8	11.88	1.90	30.82
9	11.88	2.96	16.54	9	11.88	4.46	35.28
10	11.88	2.72	19.26	10	11.88	2.84	38.12
11	11.88	glissement brusque		11	11.88	3.18	41.30
12	11.88	dans l'attache supérieur		12	11.88	2.76	44.06
13	11.88	2.69	27.87	13	11.88	2.92	46.98
14	11.88	2.65	30.52	14	11.88	3.48	50.46
15	11.88	2.82	33.34	15	11.88	2.80	53.26
16	11.88	3.14	36.48	16	11.88	3.32	56.58
17	11.88	2.86	39.34	17	11.88	2.60	59.18
18	11.88	2.63	41.97	18	11.88	3.50	62.68
19	11.88	3.11	45.08	19	11.88	3.98	66.66
20	11.88	2.94	48.02	20	11.88	3.40	70.06
21	11.88	2.35	50.87	21	11 88	3.54	73.60
22	11.88	3.23	54.10	22	11.88	3.44	77.04
23	11.88	3.76	57.86	23	11.88	4.24	81.28
24	11.88	3.36	61.22	24	11.88	3.48	84.76
25	11.88	3.92	64.58	25	11.88	4.04	88.80
26	11.88			26	11.88	4.32	93.12
	310.54			27	11.88	4.16	97.28
				28	11.88	4.82	102.10
				29	11.88	4.64	106.74
				30	11.88	5.52	112.26
				31	11.88	4.36	116.62
				32	11.88	4.54	121.16
				33	11.88	5.48	126.64
				34	11.88		
					405.58		

Nous avons représenté sur une même épure les résultats de ce tableau, en prenant pour abscisses les charges, et pour ordonnées les allongements totaux correspondants. Malgré les différences entre les allongements successivement observés pour une

même charge, les deux lignes qui joignent les extrémités des ordonnées sont exactement parallèles, à partir de la cinquième charge et jusqu'à la vingtième.

Entre ces limites, l'allongement est, dans le premier cas, de

$$48.02 - 6.26 = 41^{mil.},76,$$

dans le second de

$$70.06 - 23.88 = 46^{mil.},18$$

pour une même surcharge de

$$15 \times 11.88 = 178^{k},20.$$

Ces données nous serviront de base pour le calcul du coefficient d'élasticité.

La longueur du premier fil, entre les repères, étant de $24^{m}.60$, on a

$$E = \frac{P}{Al} = 178.20 \times \frac{1\,000\,000}{5.599} \times \frac{24\,600}{41.76} = 18\,789\,000\,000.$$

A est la section 5,599, calculée en millimètres carrés, du fil de $2^{mil.},67$ de diamètre.

Dans la seconde expérience, pour laquelle la longueur L du fil est L = 24.635, on trouve pour le coefficient d'élasticité un nombre plus petit.

$$E = \frac{PL}{Al} = 178.20 \times \frac{1\,000\,000}{5.599} \times \frac{24\,635}{46.18} = 17\,091\,000\,000.$$

La moyenne de ces deux valeurs est

$$E = 17\,945\,000\,000 \text{ kilogrammes},$$

et, en prenant ce nombre pour la valeur du coefficient du fil d'acier, nous trouvons que cette valeur est un peu forte, eu égard aux données des expériences faites précédemment sur des aciers non tréfilés.

La limite d'élasticité paraît répondre pour les deux expériences à la vingtième charge, ou à $239^{k}.26$ qui, répartis sur une section de 5.599 millimètres carrés, représentent par millimètre carré une résistance de

$$\frac{239.26}{5.599} = 42.73 \text{ kilog.}$$

Ce chiffre est fort élevé, et il démontre que l'on pourrait charger l'acier de cette qualité, à la traction, jusqu'à 40 kilogrammes par millimètre carré.

L'allongement correspondant par mètre serait, en calculant d'après notre valeur de E,

$$i = \frac{42.73}{17\,945} = 0.0024.$$

Cet acier peut s'allonger sans altération de 2.4 millimètres par mètre.

La résistance à la rupture nous est donnée par la seconde expérience seulement. Le fil a résisté à la traction de

$$405.58 - 11.88 = 393^{k}.70,$$

qui correspond à $393^{k}.70 : 5.599$, par millimètre carré, ou à $70^{k}.31$.

L'allongement de rupture est faible, puisqu'il est donné par le rapport

$$\frac{126.64}{24\,635} = 0^{m}.00514,$$

ou environ 5 millimètres par mètre.

Cela tient à ce que les allongements restent presque proportionnels aux charges jusque dans le voisinage de la rupture. Cette résistance est encore l'indice d'un acier de bonne qualité.

Enfin, nous pouvons encore déterminer, au moyen des éléments de cette dernière expérience, la résistance vive d'élasticité, c'est-à-dire le travail qu'il serait nécessaire de développer pour rompre, par traction, une tige de 1 millimètre carré de section.

Pour notre fil, le travail de rupture, mesuré sur l'épure même, est sensiblement de

$$\frac{393^{k}.70 \times 0^{m}.126}{2} = 24.80 \text{ kilogrammètres,}$$

quantité qu'il faut diviser par L pour la rapporter au mètre de longueur.

La résistance vive est donc donnée par le rapport :

$$\frac{24.80}{24.635} : 5.599 = 0.18 \text{ kilogrammètre par millimètre carré,}$$

ou de 179 800 kilogrammètres par mètre carré de section transversale.

Dans nos expériences sur des tiges extraites de tôles d'acier fondu, nous n'avions trouvé un chiffre aussi bas que pour quelques échantillons trempés et non recuits.

En résumé, le métal des fils expérimentés paraît être très-homogène, et il est caractérisé par les chiffres suivants :

Coefficient d'élasticité........................	17 945 000 000 k.
Charge correspondant à la limite d'élasticité.......	42k.73 par mill. c.
Allongement par mètre correspondant à cette limite.	0m.0024
Résistance à la rupture......................	70k.31 par mill. c.
Allongement par mètre correspondant à la rupture.	0m.0051
Résistance vive de rupture par mètre carré.......	179 800 kilogrammèt

Il est surtout remarquable en ce que l'allongement reste presque proportionnel à la charge jusqu'aux charges très-voisines de celle qui produit la rupture.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des Arts et métiers.

Paris, le 16 juillet 1865.

Vu : Général MORIN. H. TRESCA.

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

FAITES

AU CONSERVATOIRE IMPÉRIAL DES ARTS ET MÉTIERS

SUR UNE MACHINE A COLONNE D'EAU DE M. COQUE,

PAR M. TRESCA.

La petite machine à colonne d'eau que M. Coque a présentée au Conservatoire impérial des arts et métiers est de dimension trop réduite pour offrir un grand intérêt, et nous ne l'avons soumise à l'expérience que pour en faire connaître l'utilisation, au point de vue du travail mécanique qu'il est possible de recueillir, à l'aide d'une concession d'eau délivrée par un robinet.

Si la question ainsi posée est sans intérêt pour un grand débit, il n'en est pas de même lorsqu'on a besoin de faire fonctionner, d'une manière continue, un appareil ne dépensant qu'un ou deux kilogrammètres par seconde, soit au maximum un tiers du travail que pourrait fournir un manœuvre en tournant une manivelle pendant longtemps.

Nous avons d'ailleurs trouvé dans ces expériences l'avantage de voir si un frein bien disposé pouvait accuser, avec quelque certitude, d'aussi petites quantités de travail.

La disposition de M. Coque consiste en une machine horizontale ressemblant beaucoup à une machine à vapeur.

Le tiroir d'admission est placé sur le cylindre et se déplace par saccades à l'aide d'un excentrique à came et de renvois articulés. Il règle successivement l'admission dans les deux chambres du cylindre.

L'échappement de l'eau se fait par des orifices spéciaux, ménagés aux deux extrémités du cylindre et au-dessous de lui. Ces orifices sont munis de soupapes dont le rôle doit être spécialement indiqué.

Ces organes agissent successivement comme soupapes d'aspi-

ration et de refoulement; mais, dans ce dernier cas, elles se trouvent soulevées de leurs tiges par un buttoir rigide. Nous les désignerons respectivement par S et S', suivant qu'elles correspondent aux chambres A et A' du cylindre.

L'admission est fermée pour les deux chambres, lorsque le piston arrive à l'extrémité de sa course, du côté de la chambre A. Au moment même où il commence à rétrograder, la soupape d'aspiration S laisse entrer de l'air, et le buttoir force la soupape S' à se soulever pour laisser sortir l'eau de la chambre A'.

Lorsque le piston a avancé, dans ces conditions, de un dixième de sa course, l'eau entre dans la chambre A, ferme la soupape S et agit, par sa pression, sur le piston moteur jusqu'à la fin de sa course. Pendant cette seconde période, la soupape S' est maintenue ouverte, et son buttoir ne l'abandonne qu'au moment où elle va, à son tour, agir à l'aspiration. Ces effets sont obtenus à l'aide de transmissions très-simples : la bielle d'excentrique est articulée, vers son extrémité, avec l'extrémité de la branche verticale d'une sorte de T renversé, dont les deux branches latérales doivent alternativement servir de buttoirs. Le point de rencontre des deux branches est muni d'un axe retenu dans un coussinet fixe, et l'on voit facilement comment le mouvement de l'excentrique fait osciller les branches latérales du T, de manière à les forcer à butter successivement contre les tiges verticales des soupapes, tiges qui sont en outre munies de galets dans le but de faciliter les manœuvres en diminuant la résistance.

L'avantage de cette disposition consiste en ce que l'eau n'est jamais admise dans le cylindre que quand déjà l'air extérieur en remplit la capacité libre. On évite ainsi les coups de béliers, qui sont en réalité beaucoup moindres que si cette disposition n'avait pas été prise. Il est possible que cette combinaison remplace utilement les réservoirs d'air comprimé de certaines machines à colonne d'eau.

Nous avons dit que les dimensions du modèle étaient très-petites : le diamètre du cylindre est de $0^m,031$; la course du piston de $0^m,062$. Un volant de $0^m,600$ de diamètre sert à entretenir le mouvement pendant la période d'aspiration.

Pour les expériences de rendement on a employé une poulie de frein de $0^m,044$ de diamètre. Cette poulie frottait contre des coussinets en bronze lubréfiés avec de l'huile.

Suivant la chute dont on disposait, la charge du plateau a varié de 0^k,080 à 0^k,750 ; elle était appliquée à un levier de 0^m,50, suspendu au-dessous de la poulie. Voici d'ailleurs les résultats des quatre expériences qui ont été faites :

Tableau des expériences faites sur le moteur hydraulique de M. Coque, 13 *juin* 1865.

DÉSIGNATION DU RÉSERVOIR EN CHARGE.	1	2	3	4
Hauteur de chute.	3^m.36	5^m.66	9^m.55	12^m.33
Durée de l'expérience	20'	20'	20'	10'
Nombre de tours total	817	966	1080	507
Nombre de tours par minute	40.80	48.30	54.00	50.70
Consommation d'eau totale	227^{lit}.00	315^{lit}.50	312^{lit}.00	152^{lit}.00
Consommation d'eau par minute	11.35	15.77	15.60	15.20
Travail dépensé par minute	38^{km}.13	89^{km}.29	148^{km}.98	187^{km}.20
Charge du plateau du frein	0^k.080	0^k.200	0^k.500	0^k.750
Travail produit par tour	0^{km}.2513	0^{km}.6283	1^{km}.5708	2^{km}.3560
Travail calculé par minute	10.25	30.35	84.32	119.45
Rendement	0.265	0.340	0.569	0.637

La marche a été très-régulière; le frein a bien fonctionné, malgré l'exiguïté de ses dimensions. L'eau a été jaugée exactement au sortir de la machine, et les chiffres qui résultent de ces essais peuvent être regardés pour très-exacts.

Ils établissent que, même dans ces dimensions, une machine à colonne d'eau utilise le travail moteur dans une proportion satisfaisante, au moins pour des chutes de 9 à 12 mètres, et qu'on peut ainsi se procurer un moteur continu fournissant un travail de 2 kilogrammètres par seconde, avec une dépense d'eau de 20 litres environ par minute.

La disposition employée par M. Coque répond d'ailleurs très-bien à son objet, dans ces proportions.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des arts et métiers.

Paris, le 21 juillet 1865.

H. TRESCA.

Vu : Le directeur, Général MORIN.

DE L'ENSEIGNEMENT

DES ARTS TEXTILES

PAR M. ALCAN.

Nous croirions manquer à un devoir, en présence de la question de l'éducation professionnelle qui s'agite, si nous n'émettions une opinion sur l'enseignement qui a fait l'objet de notre étude particulière. Insister tout d'abord sur l'importance des industries auxquelles il s'applique serait une banalité. Autant vaudrait s'efforcer à démontrer l'utilité de l'agriculture et des constructions diverses. Les arts qui ont spécialement l'étude du vêtement en vue ne sont-ils pas en effet aussi indispensables que ceux qui s'occupent des moyens de nous procurer des aliments et de nous loger? L'avantage de l'enseignement général de ces derniers ne fait plus question depuis longtemps; celui de la fabrication des étoffes est cependant à peine défini. Les esprits les plus libéraux, les plus ardents promoteurs et propagateurs de la diffusion des sciences appliquées, pensent avoir donné satisfaction aux besoins des industries textiles, en concédant quelques écoles spéciales de filature et de tissage, dont les opérations comprennent une partie seulement des transformations complètes des substances filamenteuses, comme nous le démontrons plus loin. Ces appréciations disproportionnées sur des sujets de même importance tiennent à la nature des choses et à une manière de voir surannée. Elles pouvaient avoir leur raison d'être autrefois, sous l'ancien régime, où chaque spécialité était parquée, avait ses moyens propres, ne pouvait en sortir lors même qu'on aurait entrevu un progrès dans la réalisation d'une modification quelconque. Alors aussi la filature et le tissage constituaient, sinon toutes les opérations de la fabrication,

mais du moins de beaucoup les plus essentielles. La nature des matières premières, leurs qualités, leur origine en vue d'un produit donné, étaient prescrites à l'avance. A quoi aurait servi l'étude spéciale des substances élémentaires devenue indispensable de nos jours? La fileuse était chargée d'épurer, de trier et de préparer elle-même les filaments à transformer. Ce travail manuel de l'ouvrière n'était pas autrement divisé. Les questions se rattachant à l'établissement, à la réglementation et au fonctionnement des machines à filer pour arriver à faire mieux que par les doigts les plus habiles et cent fois plus économiquement n'avaient pas de raison d'être. Il en était de même des tissages et des quelques apprêts insignifiants qui les suivaient. Ce qui n'était pas de la filature et du tissage avant l'avénement du régime nouveau n'était qu'un accessoire. Les choses sont bien changées; ces accessoires sont aujourd'hui aussi indispensables et souvent plus importants que les parties principales d'autrefois. Cependant la fabrication, par des motifs et des besoins nouveaux, a continué à se spécialiser par genre de travaux, par nature de matières et par localités. Il suffit de citer Lyon, l'Alsace, la Normandie, la Picardie, la Champagne, etc., à l'appui de ce fait; les industries correspondantes, celles des soiries, des cotonnades, des lainages, des draperies, de la bonneterie en général, se présentent aussitôt à l'esprit. Chacune de ces spécialités, cantonnée dans son centre exclusif, préoccupée des faits qui se passent sous ses yeux, dominée par des errements transmis de génération en génération, concentre ses observations et ses connaissances sur une spécialité isolée, sans lien ni comparaison avec ses similaires.

Aussi l'enseignement se bornait-il pendant longtemps à l'apprentissage tyrannique et routinier dont la constitution des maîtrises et des jurandes témoignent. Avec la division du travail et la diffusion des connaissances positives de notre temps, au contraire, les opérations les moins susceptibles en apparence d'être expliquées théoriquement ont fini par être éclairées et considérablement perfectionnées. Quoique l'enseignement propre aux industries textiles soit resté rare, isolé et spécialisé pendant la période à laquelle nous faisons allusion, le concours direct et indirect de la science nous a valu néanmoins les progrès auxquels nous assistons, et ils eussent été plus grands encore sans

le fractionnement de l'enseignement. Les institutions de Lyon, par exemple, se bornent à l'étude du tissage des soieries, celles de Mulhouse aux cotonnades, en Normandie c'est de la draperie, et à Reims les tissus ras qu'elles ont spécialement en vue. Avec les habitudes et les exigences particulières à chaque localité, il était difficile d'arriver à un enseignement de principe fondé sur une méthode générale et rationnelle. L'observation des faits généraux, l'analyse exacte et la comparaison des nombreux détails qui constituent les opérations, non-seulement d'une même spécialité, mais surtout des différentes industries qui ont des ressemblances entre elles étant nécessaires à la détermination de la méthode. La vérité ne s'est manifestée que peu à peu, mais avec cette propriété de la lumière dont le plus mince faisceau dissipe une grande obscurité. Elle a démontré les inconvénients de l'enseignement fractionné et l'avantage du système généralisé. Le moindre défaut du premier est de limiter outre mesure les moyens sans nécessité ni économie de temps pour celui auquel il s'adresse; le second, au contraire, réunit les faits observés, déduit les principes qui leur servent de bases, dégage les lois générales pour formuler une doctrine permettant d'exposer, d'analyser et de comparer avec une précision mathématique tout ce qui se rattache à ces matières, et de constituer enfin une nouvelle branche dans la classe des sciences appliquées fondées sur l'observation, et sur les connaissances de la transformation des forces. Il n'y a, en effet, que les sciences mathématiques qui déduisent leurs conséquences de certains axiomes posés *à priori*. Dans l'industrie, l'homme assiste à des phénomènes sans valeur ni signification pour l'ignorant; l'industriel, au contraire, sait les faire tourner au profit de la spécialité dont il s'occupe; le savant, à son tour, les coordonne, les range, va du connu à l'inconnu, classe les faits identiques, similaires et analogues, procède par induction pour éclairer et définir ceux qui ne le sont pas, en se servant de l'expérience acquise. Il arrive ainsi à former un corps de doctrines où les groupes fondamentaux et les divers anneaux de la chaîne continue, qui constituent l'industrie, trouvent la formule de leurs lois générales, la démonstration de leurs corrélations et des explications de détails. Cette voie commune à toutes les recherches scientifiques et indépendante de la nature des objets envisagés doit, par conséquent, être la même pour

toutes les sciences appliquées. Or que dirait-on d'un cours de mécanique, par exemple, qui n'aurait en vue que l'exécution des pompes; d'un enseignement chimique qui se bornerait à la fabrication de l'acide sulfurique; ou d'un professeur de génie civil qui ne s'attacherait qu'à certaines parties de la construction, sans s'occuper de la question des matériaux, de la nature du sol et des fondations, et d'un ingénieur de chemins de fer dont les connaissances se borneraient à l'exécution des terrassements? Eh bien, l'enseignement des arts textiles, réduit à la filature et au tissage, ne serait pas autre chose et ne serait vraiment pas plus rationnel que le fractionnement dont il vient d'être question. Ne pas comprendre désormais la nécessité de généraliser l'enseignement des industries vestimentaires à l'exemple de ceux des autres connaissances positives, et l'influence qu'il peut avoir sur la jeune génération, ce serait se conduire d'après l'esprit qui, dans certaines contrées, supposait leur prospérité à l'abri de toute rivalité, grâce à des causes particulières et locales, et qui ne furent détrompées que lorsqu'il n'était plus temps de remédier à leur imprévoyance.

Comprendre, au contraire, l'influence salutaire d'une éducation convenablement appropriée à son objet, et agir en conséquence, c'est se préparer les résultats surprenants obtenus en douze ans à peine par l'industrie anglaise, dans les produits où le goût joue un si grand rôle.

Nous citons ce progrès d'autant plus volontiers, à notre tour, que même dans les industries textiles nous avons à redoubler de *vigilance rationnelle*, si nous voulons, non-seulement pouvoir soutenir la concurrence étrangère sous le rapport économique, mais encore conserver notre supériorité incontestable au point de vue du goût. La propagation de bonnes méthodes, l'union plus étroite que jamais entre l'art et l'industrie, sont indispensables à ce but. Pour démontrer l'influence des moyens techniques sur la composition artistique, il suffit de faire tisser un même dessin par les mêmes fils, au moyen d'entrelacements différents; quoique toutes les choses soient égales d'ailleurs, l'un des résultats pourra avoir une supériorité remarquable sur l'autre, en raison du choix des armures, c'est-à-dire du système d'après lequel les fils de la chaîne et de la trame s'entre-croisent. La perfection des contours, les contrastes, la délicatesse et

l'harmonie des effets, leur plus ou moins de relief, le brillant, recherchés par l'artiste, pourront être complétement réussis ou manqués. Les différences peut être telles pour les deux produits, qu'il serait difficile de s'en faire une idée *à priori*, si on n'avait recours pour la démonstration à deux spécimens obtenus dans des conditions identiques par des armures différentes, les plus susceptibles de faire ressortir cette influence du mode d'exécution sur le résultat artistique.

L'ignorance des faits desquels découle la différence que nous venons d'indiquer, et de bien d'autres de même nature que nous pourrions signaler, peut neutraliser en partie la valeur des œuvres des artistes les plus distingués. C'est à l'enseignement spécial de prévenir ces écueils, et à démontrer au contraire la fécondité des résultats de l'union rationnellement comprise entre les beaux-arts, la science et l'industrie.

C'est d'après l'ensemble des considérations qui précèdent que le conseil de perfectionnement du Conservatoire impérial des arts et métiers a arrêté le plan de l'enseignement des industries textiles, et qu'une chaire a été créée en 1852. Le programme que nous allons donner du cours dit de *filature* et de *tissage* n'indiquant les matières que d'une façon sommaire, nous le ferons suivre de quelques développements, afin de pouvoir examiner comment cet enseignement pourrait se propager encore.

PROGRAMME

de l'Enseignement des arts textiles.

I

CONNAISSANCES GÉNÉRALES RELATIVES AUX MATIÈRES PREMIÈRES.

Étude des diverses questions concernant les substances filamenteuses en usage, en essais, et susceptibles d'être utilisées.

Les leçons sur les matières premières comprennent leurs distributions géographiques, l'étude de leurs caractères, de leurs qualités en raison de leurs origines, la statistique de leur production, les progrès et les fluctuations les plus remarquables auxquels a donné lieu le mouvement commercial, ceux à espérer des conditions spéciales dans lesquelles se trouvent les diverses contrées qui peuvent prendre part à l'approvisionnement des matières premières. Les pays intéressés dans ces questions sont divisés en pays producteurs, en pays producteurs et manufacturiers, ou en contrées manufacturières seulement. Les conséquences résultant de ces distinctions terminent la partie concernant le mouvement général des industries textiles.

L'examen et l'étude des divers états dans lesquels la nature fournit les substances filamenteuses fondamentales, les préparations préliminaires agricoles dont elles sont l'objet sur les lieux de la récolte, l'influence plus ou moins satisfaisante de ces traitements, les améliorations à y introduire; l'analyse des caractères chimiques et physiques et l'influence des agents naturels sur les moyens qui concourent aux diverses transformations; la nécessité de les modifier en raison de la nature et suivant les diverses propriétés recherchées dans les résultats, constituent les principaux sujets de l'étude des préparations techniques proprement dites. L'exposé des procédés pour épurer

les substances et leur restituer leurs caractères normaux accidentellement neutralisés, les déchets résultant de ces préparations, leurs caractères, leur destination et leur valeur; une revue des substances filamenteuses nouvelles en essais plus ou moins avancés et des substances susceptibles d'être expérimentées, les conditions particulières à constater pour arriver à la qualité relative de toute matière nouvelle, et les procédés pour déterminer le mode de transformations le plus avantageux, forment le complément de la première section.

II

FILATURE.

Divers genres et variétés de fils que les matières textiles fournissent. — Exposé général des moyens et des procédés sur lesquels les séries des diverses transformations reposent. Caractères et résultats plus ou moins parfaits des opérations qui les constituent. Modification des transformations en raison de la nature, du genre et du degré de perfection des produits. Enfin étude comparée des divers moyens pour arriver à un même but. Projets d'établissements. Etude de six types fondamentaux correspondants aux six spécialités principales.

De la conversion d'une substance filamenteuse quelconque en fil. — Faire avec des fibrilles élémentaires variant en longueurs de quelques millimètres à un millier de mètres, et en grosseur de 1/20 à 1/150 de millimètres et offrant des résistances non moins variables, suivant leur nature, un fil parfait, c'est-à dire un cylindre flexible d'une ténuité extrême et d'une longueur indéfinie. d'une homogénéité parfaite et d'une ténacité uniforme sur tous les points de la longueur, tel est le problème que l'enseignement de la section II doit apprendre à résoudre. Il classe tout d'abord à cet effet les substances élémentaires en deux grandes catégories, l'une comprenant tous les filaments ou brins offrant une longueur relativement très-limitée et dépassant rarement $0^{m},50$, et l'autre donnant un produit sous la forme d'une bobine naturelle dont les couches agglutinées réalisent, après leur développement, un fil d'une longueur variant de 500 à 1,000 mètres en

moyenne. Les premières comprennent tous les filaments, excepté les soies; ces dernières, sous forme de cocons divers, constituent les secondes. Les modes de traitement et de transformations diffèrent en principe avec l'une ou l'autre classe de ces substances. La théorie des moyens divers démontre qu'ils se résument dans la transformation des filaments à longueurs limitées aux deux résultats suivants : 1° à l'échelonnement régulier des fibres, à la réunion des unes aux autres pour en obtenir une longueur quelconque; 2° à leur consolidation par la torsion. Les matières diverses sont examinées dans les divers états auxquels elles doivent être amenées successivement pour pouvoir subir dans les conditions voulues le travail final, et les rendre avec les caractères de régularité mathématique précédemment indiqués. Le mode ancien, par lequel la main arrivait au but, est comparé aux moyens nouveaux successivement adoptés qui représentent l'application la plus féconde et la plus remarquable de la division du travail. La matière est suivie à son passage aux diverses opérations auxquelles elle est soumise; celles-ci, à leur tour, sont groupées par séries comprenant successivement l'épuration de la masse des fibres isolées, leur transformation en couches continues, homogènes et régulières, pour être amenées progressivement à l'état de ruban, puis de fil en gros et en fin, par une suite de machines appropriées à chaque période du travail général. Chacune des machines est décrite et étudiée dans son principe, ses moyens d'action, son but, et classée méthodiquement en raison des fonctions qui lui incombent et du rang qu'elle doit occuper dans l'*assortiment, complet*. Cette méthode a permis de diviser toutes les opérations de la filature d'une façon indépendante de la nature des substances en un nombre relativement restreint de transformations fondamentales comprenant :

1° Les préparations du	1er degré	1re	période.
2° id.	id.	2e	période.
3° id.	2e degré	1re	période.
4° id.	id.	2e	période.
5° Le filage.	id.		
6° Les opérations accessoires.			

Ces étapes inévitables aux transformations de toutes espèces

de filaments sont atteintes par des procédés et des moyens analogues, mais modifiés dans certains de leurs détails en raison de la nature de la substance.

Tout ce qui concerne l'épuration des substances filamenteuses brutes et les moyens de leur rendre leur état naturel accidentellement troublé dépend de la première période des préparations. La seconde a pour but d'agir, autant que possible, sur les fibres isolées de la masse pour les prédisposer de la manière la plus avantageuse et la plus régulière sous une forme nouvelle, en nappe ou surface déterminée. La première période du 2e degré comprend la série successive des glissements des filaments pour en obtenir l'échelonnement régulier sous la forme d'un ruban allongé de la plus grande ténuité possible. La seconde période des mêmes préparations continue l'opération précédente et consolide le résultat arrivé à sa limite, par une action supplémentaire, un frottement ou une faible torsion. Le *filage* ne diffère de la dernière transformation qui le précède que par les quantités de glissement ou d'étirage et la torsion, tellement supérieures dans cette dernière opération, que les moyens mécaniques en sont profondément modifiés. Enfin la 6e classe d'opérations de la filature comprend les sujets mentionnés dans la section III des apprêts des fils. L'une des tâches fondamentales de l'enseignement consiste à faire ressortir les causes de ces modifications et à rechercher si elles sont basées sur des faits rationnels découlant des lois générales et des principes posés *a priori*, comme devant régir la matière. Si, en un mot, elles sont conformes à la théorie, et à faire ressortir dans le cas contraire les anomalies, afin d'arriver plus rapidement à les faire disparaître.

L'étude de la transformation de toutes espèces de cocons en fils de soie forme une partie spéciale qui comprend leur préparation ou cuite pour faciliter la mise en liberté du fil superposé, et le dévidage ou *tirage* dans le but de transformer les couches adhérentes du cocon en écheveaux de soie grége ou crue. Malgré la simplicité apparente de ces opérations, leur exécution soulève des questions d'une telle importance, eu égard à la valeur de la matière et à la délicatesse des moyens, que les produits peuvent varier de prix du simple au double pour une même matière première, en raison du degré de perfection du travail. La théo-

rie servira désormais de guide à la pratique dans cette direction; elle indique la voie la plus sûre à suivre pour arriver au produit parfait. L'analyse des progrès successivement réalisés démontre qu'ils sont les résultats de l'application des moyens puisés aux sources de la science pure. Celle-ci est donc pour les opérations d'une simplicité rustique en apparence, aussi bien que pour les transformations les plus compliquées, la véritable nourrice du progrès, selon l'expression d'un poëte.

L'étude des deux genres distincts de filatures est terminée par l'examen des moyens et des méthodes de vérification des caractères et des qualités des produits, et des diverses formes qu'ils doivent affecter. Ils comprennent les différents systèmes de titrage, la détermination de la régularité, de la ténacité, de l'homogénéité et de l'élasticité des fils, encore trop négligée, ainsi que l'examen des divers moyens pour y arriver, et des conséquences avantageuses de ces investigations.

III

APPRÊTS DES FILS.

L'enseignement a dû réunir dans une section spéciale, sous le nom d'*apprêts des fils*, une foule d'opérations disséminées agissant toutes sur le fil terminé en vue, soit de rendre son apparence plus flatteuse, en épurant, en régularisant, en *purgeant*, en *parant* ou en vernissant plus ou moins la surface, soit de le consolider en réunissant plusieurs fils simples par la torsion simultanée, soit de recouvrir d'une façon complète des fils communs par des fils d'une plus grande valeur, etc.

Cette partie embrasse peut-être les faits les plus curieux et les moins connus, concourant à des spécialités diverses et pouvant être étudiés simultanément, grâce aux principes généraux précédemment exposés. En effet, les machines à purger, à parer, à gazer, à tordre, à mouliner, à guiper, à lustrer, les appareils à conditionner, à essayer et à constater les divers caractères et qualités des fils sont à peu près identiques dans leurs principes et applications, quelle que soit d'ailleurs la nature des produits. Il suffit de rappeler les caractères et propriétés de ceux-ci, pour

démontrer à quel point les divers moyens appliqués aux apprêts leur sont communs.

IV

TISSAGE.

Cette section comprend quatre divisions principales :

1° *Le travail des étoffes unies à fils serrés et à croisements rectangulaires.* Il embrasse les opérations préparatoires et le tissage proprement dit, exécutés à la main ou automatiquement, l'étude des armures et de leurs dérivés, la description des divers systèmes de métiers, leur appréciation comparée, leur appropriation suivant la nature des matières, le genre de produits, etc. ;

2° *Le travail des étoffes unies à fils serrés, à surfaces bouclées, veloutées, peluchées, plissées, etc.*, et par conséquent l'étude et l'exécution des opérations pour faire des peluches, des velours frisés, coupés, pendant ou après le tissage, obtenus par des effets de chaîne ou de trame. La formation des mèches, manchons, tissus à plis, etc., et de tous les articles unis à surface rase ou duveteuse, obtenus par l'entrelacement de séries multiples d'éléments, avec ceux nécessaires aux tissus unis simples, la description des divers modes d'exécution et des machines diverses par lesquelles on y arrive font partie de la même section.

3° *La production des étoffes unies à mailles* comprend la description des diverses formes, caractères et propriétés des mailles ou réseaux qui constituent les principaux types de ces produits, représentés par le tricot, le tulle à la chaîne, le tulle à la trame ou tulle bobin, les diverses espèces principales de dentelles, et les filets. Elle est suivie de la démonstration des nombreuses variétés à obtenir pour chacun des types, en modifiant le mode de révolution des fils qui réalisent les mailles, et donne une description générale du travail et des divers métiers au moyen de quelques éléments fondamentaux.

4° *Travail à la main et automatique des tissus façonnés de toutes espèces.* Réaliser par l'entrelacement des fils un effet, un dessin, une figure, une ornementation ou un sujet quelconque, tels sont

les résultats qui incombent au tissage façonné, soit des tissus des étoffes rases, soit des étoffes veloutées à fils serrés ou à mailles.

L'enseignement de cette branche se divise en deux sections, A et B.

La section A comprend la conception de l'esquisse, la composition et la détermination définitive du sujet à réaliser; les considérations spéciales relativement à la différence des moyens mis en œuvre par le dessinateur, le peintre et l'artiste pour étoffes; l'exposé des moyens techniques spéciaux mis en œuvre par le fabricant des différentes natures et variétés de tissus.

La représentation graphique particulière ou *mise en carte* du dessin à exécuter. But et avantages de la mise en carte, divers modes de la réaliser.

Le lissage du dessin.

L'exécution conforme des cartons ou moyens analogues devant servir de levier-moteur aux fils et les faire agir dans l'ordre voulu pour reproduire le sujet du dessin et de la mise en carte par l'entre-croisement des divers systèmes de fils de même couleur ou des nuances les plus diverses.

Section B. — Cette section embrasse l'étude de tout ce qui est spécial à un métier à faire les façonnés et composé universellement : 1° de tous les éléments et organes du métier à tisser les unis : 2° de mécanismes additionnels dont celui de Jacquard forme la base. L'enseignement de cette partie fait comprendre, d'abord, par quel artifice les effets les plus compliqués sont obtenus par l'action d'un simple levier; il démontre ensuite les ressources extraordinaires du principe fondamental des métiers de Jacquard et de Vaucanson. Le *montage*, c'est-à-dire les combinaisons diverses des éléments du métier à partir des fils de la chaîne jusqu'à la pédale, forment l'objet de démonstrations géométriques qui peuvent servir de guide et faciliter la solution des problèmes pratiques de cette partie, en quelque sorte l'âme du tissage façonné.

Afin de rendre l'étude du tissage aussi complète que possible, elle est précédée d'une division générale et méthodique des tissus, classés en types fondamentaux, genres et variétés, basée sur un système géométrique et une notation algébrique qui com-

mence à se propager dans l'enseignement, et surtout à l'école de tissage si habilement dirigée à Amiens.

Le principe de ce système est tel que toutes les étoffes, anciennes et nouvelles, quelque nombreuses et compliquées qu'elles soient, y ont leurs places relatives et leur formule. Celle-ci rend compte du mode d'entrelacement des fils, du nombre de séries ou systèmes de ces fils, du degré de complication des résultats, des moyens qui y ont concouru et de la valeur relative et absolue du produit. Quelques leçons suffisent à un auditeur possédant les notions les plus élémentaires de mathématiques pour s'initier aux principes constituant les articles les plus compliqués, et se rendre compte de leur valeur relative et absolue. Une dénomination fournie par la méthode nouvelle n'est applicable qu'au type défini, et comprend toutes les variétés dont il est susceptible; elle présente par conséquent le caractère distinctif d'une définition exacte.

Des exemples de l'économie de la classification sont fournis par son application à des séries d'étoffes anciennes et récentes, mises en regard dans un tableau; cette étude comparée a l'avantage de permettre de mesurer la nature et les progrès réalisés depuis l'introduction des procédés de notre temps, de faire comprendre les filiations des nombreux dérivés des types principaux, et de faciliter la continuation des recherches dans cette direction. Lorsque cette méthode sera popularisée, la propriété du domaine public ne sera plus discutable, et il ne sera plus possible, comme cela arrive si souvent, de revendiquer des vieilleries ou des combinaisons du domaine de l'art comme des inventions valablement brevetables.

Les développements que comporte chacune des sections artistique, technique et mécanique, nous entraîneraient trop loin, relativement au cadre de cet article. Nous nous bornons à dire que toutes les opérations embrassées par l'art du tissage ont aujourd'hui leurs lois théoriques, puisées aux sources des sciences géométriques. Elles permettront de simplifier de plus en plus les moyens et d'élever la valeur des résultats.

V

ÉPURATION GÉNÉRALE DES TISSUS.

A la sortie du métier à tisser, les étoffes sont plus ou moins altérées et doivent être épurées et débarrassées, tantôt de souillures et de corps étrangers ramassés accidentellement, tantôt de substances lubréfiantes ou adhésives pour faciliter le travail de la filature et du tissage; parfois aussi il se manifeste des fibrilles anormales ou espèce de duvet à leur surface, et presque toujours il y a des défectuosités à réparer. L'étude des divers moyens, variables avec la nature des substances, et les diverses circonstances que nous venons d'énoncer constituent cette partie des opérations qui peuvent se résumer dans des *dégraissages*, *lavages*, *épeutissages*, *noppages*, *gazages*, *grillages*, *tondages*, etc. Quoique accessoires en apparence et trop longtemps négligées, ces opérations ont assez d'importance pour que leur réussite influe d'une manière notable sur la qualité des produits. Cette section est, par conséquent, digne d'une étude toute spéciale.

Tous les produits, excepté certains articles de la soierie, réclament l'intervention des procédés qui constituent ce groupe. L'enseignement les classe en opérations chimiques et mécaniques, divise chacune d'elles en séries, analyse les principes sur lesquels elles reposent, discute les divers systèmes en présence, détermine les limites de leur action, fait ressortir les inconvénients et les conséquences fâcheuses de les pratiquer au hasard, comme cela a lieu trop souvent. Il démontre toute l'importance de l'intervention des procédés scientifiques dans ces sortes d'opérations, ce qu'elles ont gagné en temps, en perfection, et par l'utilisation des déchets perdus qui en résultaient avant que ces opérations ne devinssent des applications de la théorie.

VI

FEUTRAGE ET FOULAGE.

Cette section comprend l'exposé du principe sur lequel repose ce phénomène, particulier à certains filaments, les carac-

tères spéciaux des matières jouissant de cette propriété du feutrage, et les divers moyens en usage pour l'obtenir pratiquement.

Les diverses variétés de produits sont ensuite groupées suivant leurs caractères, propriétés et emplois respectifs :

En nappes de filaments feutrés ;

En tissus feutrés et foulés;

En nappes piquées ou cousues, et foulées;

En produits mixtes composés d'un tissu et d'une nappe filamenteuse, réunis par le feutrage;

En étoffes tissées et consolidées par la division de la laine incorporée par le foulage ;

En produits mixtes de diverses substances réunis en corps par l'action du feutrage, etc.

Il est à peine nécessaire de faire ressortir l'importance théorique et pratique de cette section du feutrage et du foulage; les opérations qui les réalisent reposent sur les propriétés naturelles de certaines fibres vaguement déterminées jusqu'ici; elles comprennent une combinaison d'actions physiques, physiologiques et mécaniques. Si les moyens de réalisation de ces dernières ont progressé depuis quelque temps, les premières sont restées stationnaires, les causes qui les déterminent étant restées inconnues pour la plupart jusqu'ici. La mystérieuse pratique du sécrétage, la conduite rationnelle du feutrage, l'application raisonnée du foulage en raison des caractères de la matière et des propriétés recherchées dans les résultats, laissent en effet encore bien à désirer. L'enseignement a pour mission d'analyser l'état de la question, de l'éclairer autant que possible par la théorie, et de provoquer des applications plus rationnelles et plus méthodiques, d'appeler l'attention de la science en général sur l'insalubrité et le danger d'une partie des pratiques en usage dans cette direction, et de contribuer, en un mot, à hâter la solution complète du problème.

VII

APPRÊTS GÉNÉRAUX DES ÉTOFFES.

Leur enseignement embrasse les points suivants : But fondamental des apprêts. — Leur classification en raison de la nature du tissu et de l'apparence recherchée. Théorie générale. — Elle démontre la nécessité de les modifier, suivant qu'ils s'appliquent sur une matière animale ou végétale, que la surface de l'étoffe doit offrir un aspect mat ou brillant, ras ou duveteux, souple ou carteux. Exposé méthodique de la succession des opérations à réaliser dans chacun de ces cas spéciaux, modifications de détails dont elles sont susceptibles, et qu'elles subissent dans certains cas. Conséquences importantes que présente l'application bien entendue des apprêts. Études comparatives des divers moyens en présence pour arriver à certains résultats identiques.

Les divers systèmes et modes d'apprêts des étoffes sont basés sur les principes qui servent de points de départ aux apprêts des fils. La multiplicité des opérations augmente nécessairement en raison de la complication des produits, mais les errements généraux sont encore insuffisamment déterminés. L'étude de celles dont la théorie est précise, comparées aux apprêts moins avancés sous ce rapport, conduira infailliblement au progrès. L'importance de cette partie des transformations accessoires en apparence ressort d'elle-même par l'examen comparatif des tissus à l'état brut et fini.

Cette comparaison donnera en quelque sorte la mesure du degré d'avancement des diverses spécialités. La connaissance approfondie de ce sujet peut d'ailleurs fournir de précieuses ressources pour arriver aux nombreux articles qui tiennent leurs caractères apparents presque exclusivement des apprêts ; elle est destinée à les améliorer non-seulement de façon à augmenter la valeur intrinsèque du résultat, mais encore à lui donner l'apparence flatteuse réclamée par le goût le plus épuré.

VIII

ORNEMENTATION SPÉCIALE ET ÉTUDE DE CERTAINS TRAVAUX MÉCANIQUES AUXILIAIRES AUX ARTS VESTIMENTAIRES.

Cette section embrasse : 1° l'exposé et la description des principes qui constituent les diverses espèces de broderies, de soutaches et de points de coutures ; leurs apparences spéciales, les propriétés et les caractères de solidité de chacun de ces résultats ; 2° la description et l'étude des divers systèmes de machines en usage, en essai ou tentés, un aperçu des conséquences industrielles résultant de la propagation de l'usage de ces machines.

Dans un enseignement où toutes les parties concernant les transformations mécaniques des étoffes sont traitées, il n'est plus permis de passer sous silence la description des machines énumérées dans cette section, dont l'usage se développe avec une rapidité telle, que c'est déjà par centaines de millions que leur résultat se chiffre en France seulement. Malgré le nombre des systèmes en présence, ils peuvent, d'ailleurs, sous le rapport des principes, être ramenés à quelques types fondamentaux, et rentrer par conséquent facilement dans le cadre de l'enseignement. Sans méconnaître les services des diverses machines qui en dérivent, elles sont loin de pouvoir satisfaire encore à tous les besoins. L'analyse des organes fondamentaux, des transmissions de mouvements, du mode d'action de chaque type, amènera naturellement l'indication des genres de travaux qui lui incombent et des limites auxquelles il est obligé de s'arrêter. Les désidérata sont ainsi mis en évidence, et signalés aux constructeurs, aux industriels et aux chercheurs, auxquels il suffit parfois de poser un problème pour hâter sa solution.

IX

PROJETS ET ÉTUDE DE L'INSTALLATION DE DIVERSES USINES, CONFORMÉMENT AUX SPÉCIALITÉS EXISTANT DANS LA FABRICATION DES ÉTOFFES.

Ces projets sont exécutés au double point de vue de l'ingénieur spécial et de l'industriel. Ils doivent, par conséquent, com-

prendre l'installation la plus parfaite sous le rapport de l'outillage, du moteur, des transmissions, du service, de l'éclairage, du chauffage, des conditions hygiéniques, et aussi des combinaisons, des agencements, des règlements de machines tels, que l'usine n'ait rien à craindre de la concurrence quelle qu'elle soit. Les projets développent, par conséquent, dans un mémoire écrit, tous les éléments et calculs indispensables à faire au préalable dans les cas semblables[1].

Enfin, si cette section traite des sujets du ressort de l'ingénieur, de l'architecte et du mécanicien, ce n'est qu'au point de vue de leurs relations avec les usines spéciales aux arts textiles. L'enseignement qui leur est particulier n'a pas à s'occuper des connaissances nécessaires à l'art de bâtir, ni de celles de la mécanique générale; mais il doit fournir les éléments spéciaux à l'industriel pour le mettre à même de supputer toutes les chances d'une entreprise, et d'en déterminer les conditions à l'avance. Il doit indiquer l'étendue des surfaces réclamées par chaque spécialité, les meilleures combinaisons à réaliser pour arriver économiquement à la perfection des résultats, tenir compte de l'influence de certains agents atmosphériques, calculer la quantité de force motrice et le personnel indispensables, etc. Nous pourrions multiplier la citation des détails que l'industriel doit posséder lorsqu'il se livre lui-même à l'érection d'une usine, pour les fournir aux hommes spéciaux chargés des constructions. Les manufactures des diverses branches textiles sont, d'ailleurs, rangées en un certain nombre de catégories, comparées aux meilleurs types connus pour chacune d'elles; des comptes détaillés et simulés relatifs au prix de revient de leurs produits dans les diverses contrées complètent cette partie de l'enseignement.

On remarquera que la filature et le tissage ne comprennent que deux sections sur les neuf qui constituent l'ensemble du cours. Pour démontrer l'importance des matières traitées par chacune d'elles, des moins connues aussi bien que des deux populaires, il est nécessaire d'entrer dans quelques détails.

1. Nous n'avons pas besoin de faire remarquer qu'il n'est pas question dans ce programme de la teinture et de l'impression, parce qu'elles forment une branche distincte des arts chimiques, qui ont leur enseignement spécial.

A l'exception du feutrage et du foulage, spéciale à une branche fondamentale des lainages, les connaissances mentionnées dans les huit autres sont indispensables pour pouvoir s'initier aux moyens et aux procédés par lesquels on arrive aux diverses variétés de tissus, quelles que soient d'ailleurs les substances qui leur servent de base.

Ce fait démontre *a priori* la nécessité de suivre dans l'enseignement une méthode générale par laquelle on puisse expliquer la variété et la fécondité des résultats relativement au petit nombre des substances et des moyens en usage. L'analyse générale des produits fondamentaux de chacune des matières textiles, qui forme en quelque sorte le frontispice de cette méthode, démontre tout d'abord l'influence considérable des transformations indépendamment de la filature et du tissage, tels qu'on les entend et qu'ils sont généralement enseignés. Elle explique comment avec une même matière telle que le lin, par exemple, on obtient des toiles ordinaires de la mulquinerie, les filets et les dentelles; avec du coton, de la mousseline, des velours, des moleskines, des variétés de tulle, etc., et des différences plus grandes encore dans les produits de la laine qui comprennent un tissu si léger, qu'on le désigne sous le nom de mousseline de laine, de barége ou gaze, et des étoffes qui rivalisent par leur résistance avec le cuir lui-même; et encore les tissus les plus ras, jusqu'aux produits dont les apparences et les propriétés se confondent avec celles des fourrures naturelles. Une même substance devient ainsi propre aux usages les plus multiples, non-seulement pour vêtements et tentures, depuis les plus modestes jusqu'aux plus riches; mais dans une foule de cas, comme organes mécaniques, appareils anticonducteurs ou destinés à amortir le choc. Les soieries, depuis les tissus ingénieux appliqués au blutage des farines jusqu'aux velours et blondes les plus estimés, trouvent à leur tour leurs places et caractéristiques dans cette analyse. Enfin, l'exemple de la combinaison entre elles des diverses matières fondamentales précédentes, ou autres moins connues, pour former des articles dont les caractères et les propriétés participent de celles des éléments composants, démontre l'étendue des résultats possibles par de simples modifications dans les combinaisons.

Tous les faits importants, tous les caractères distinctifs com-

muns aux résultats principaux se trouvent ainsi groupés tout d'abord, et expliqués par la suite au moyen d'un nombre de principes et de lois relativement limités. Les modifications à apporter suivant les cas et les caractères en vue viennent en quelque sorte s'indiquer spontanément, tant elles découlent naturellement des généralités précitées. Les matières comprises dans chacune des sections du programme ne sont plus, en quelque sorte, que la reprise détaillée des points visés dans l'exposé préliminaire et initiateur dont il vient d'être question.

INSTITUTIONS EXISTANTES OU A CRÉER, OU LE PROGRAMME PRÉCÉDENT POURRAIT ÊTRE APPLIQUÉ EN ENTIER, OU AVEC CERTAINES MODIFICATIONS.

Le temps n'est déjà plus où l'on pouvait nier la possibilité de créer un enseignement général et spécial pour les arts textiles. Le nombreux auditoire qui, depuis treize années, suit au Conservatoire des arts et métiers les développements du programme précédemment exposé répondrait victorieusement au doute qui pourrait s'élever à ce sujet. En effet si, malgré les difficultés inhérentes à l'enseignement de tout sujet nouveau, les lacunes considérables qui existaient au début dans les moyens de démonstrations et l'insuffisance du professeur devant un auditoire habitué à la parole autorisée de tant de savants, l'enseignement a été accueilli avec empressement, c'est qu'il répondait évidemment à un besoin sérieux. L'utilité étant révélée d'une manière aussi positive, et la possibilité d'y satisfaire au moins en partie démontrée, il est permis de faire un pas de plus et de rechercher comment il devrait se propager, et les institutions qui pourraient s'y livrer.

Remarquons d'abord l'union intime de la partie théorique aux moyens des démonstrations matérielles dans le cadre adopté par le programme; l'étude des caractères et des propriétés des matières premières, leurs divers modes de préparations et la comparaison de leurs résultats, la description des machines et l'analyse des principes qui servent de base à leurs opérations, l'exposé des calculs pour déterminer leur construction et leur agencement, etc., sont facilités par le concours d'un certain

nombre de moyens matériels. Ils consistent dans des échantillons des diverses substances, les modèles de la plupart des machines, tantôt réduites dans leur volume pour les rendre portatives, et tantôt représentées par un seul de leurs organes amplifié pour mieux faire saisir l'ensemble et le fonctionnement de la machine complète formée par la répétition multiple de cet organe fondamental; parfois même par l'exécution des opérations les plus compliquées sous les yeux du public, afin d'en mieux faire saisir tous les détails. Ces démonstrations sont complétées par des dessins exécutés à l'avance sur une échelle assez grande pour pouvoir être saisis de toutes les parties de l'amphithéâtre[1].

Dans un enseignement public, suivi par un auditoire parfois des deux sexes et de tous les âges, dont les uns sont compétents, et d'autres plus ou moins bien préparés, il serait impossible d'entrer utilement dans des détails plus pratiques. Faire plus, ce serait vouloir ce que les plus grands maîtres n'ont jamais tenté. Il n'a pu venir à leur esprit, dans un cours de chimie, par exemple, d'apprendre à manipuler au premier assistant venu. Enoncer la prétention, c'est en faire justice. Pour s'initier pratiquement aux analyses et aux manipulations, c'est aux travaux d'une école de chimie pratique qu'il faut recourir, c'est-à-dire à un laboratoire. Les fermes-modèles sont à leur tour l'école pratique de l'enseignement apppliqué à l'agriculture, comme les Écoles des arts et métiers ont la construction des machines, l'enseignement de la mécanique générale pour but. Ce qui existe dans ces différentes directions manque encore aux arts textiles, au moins dans leur ensemble. Nous pensons donc que la création d'une *École normale pratique pour les arts textiles* avec des assortiments pour chaque spécialité, où l'enseignement et la pratique seraient menés de front, serait non-seulement une institution très-utile au pays, mais en même temps une entreprise fructueuse pour ceux qui en prendraient l'initiative. Un établissement de ce genre pourrait appliquer dans tous ses détails le programme que nous venons de développer et le perfectionner dans ce qui lui manque. Il aurait pour but essentiel de donner

1. Pour rendre ces dessins plus utiles ils sont exécutés à la peinture avec des teintes différentes pour indiquer les différents plans, ou certains autres effets.

d'une façon complète l'instruction spéciale dont nous nous occupons, de réunir une usine modèle à l'école; la théorie et l'exécution industrielle s'y prêteraient un mutuel appui.

Mais il est des éducations industrielles qui se proposent un but plus général, qui ne sont en quelque sorte que préparatoires à la pratique réelle, à cause de l'étendue des connaissances qu'elles comportent. Pour celles-là, le programme, maintenu dans son principe, doit être condensé dans ses développements, et son assimilation particulièrement facilitée par le secours des moyens matériels de démonstrations indiqués précédemment. Ainsi entendu, l'enseignement permettrait à ceux qui le posséderaient de s'initier rapidement aux fabrications des arts textiles qui ont acquis une si large part dans les affaires du monde. Il pourrait par conséquent prendre une place utile dans les écoles existantes qui ont en vue l'enseignement des arts et des métiers, ainsi que l'indiquent les titres qu'elles portent et dans lesquelles il n'est nullement question jusqu'ici des arts textiles, des métiers à filer et à tisser, ni d'aucune espèce de manufacture d'étoffes. Les ingénieurs, les professeurs de sciences industrielles, les directeurs d'usines qui en sortent, sont complétement étrangers, par leurs études du moins, aux connaissances que nous venons d'énumérer. Ils ne possèdent aucun des moyens si remarquables à tant de titres par lesquels les industries les plus indispensables, après l'agriculture, sont pratiquées. Les occasions d'utiliser sérieusement leurs connaissances à leur profit et à celui de l'industrie leur échappent souvent par suite de cette lacune[1]. Est-ce à dire qu'il faille faire des écoles des arts et manufactures et des arts et métiers des écoles de *filature et de tissage*, pour nous servir de l'expression consacrée? Là n'est pas notre pensée; nous voulons seulement faire ressortir la fâcheuse lacune existant sous ce rapport, et dire : Que, pour des écoles de ce genre, le programme ci-dessus est encore applicable; mais, au lieu de le scinder, il est à condenser dans chacune de ses sections, de manière à pouvoir embrasser la matière dans ses généralités. Entrer

1. Nous pourrions citer de nombreux exemples à l'appui de ce fait, et mentionner des jeunes gens, d'ailleurs très-capables, que des industriels n'ont pas osé attacher en qualité d'ingénieurs à leurs fabriques d'étoffes, jugeant à tort leurs connaissances générales sur leur ignorance des principes les plus élémentaires des arts textiles.

dans plus de détails à ce sujet nous entraînerait trop loin sans utilité pour le moment.

Quant aux enseignements locaux et spéciaux, nous ne cesserons de penser et de dire qu'ils doivent, dans l'intérêt même de leurs spécialités, se généraliser davantage, par les motifs que nous avons surabondamment développés déjà. S'il est bon et rationnel que les enseignements dits généraux et théoriques cherchent à démontrer leur utilité par des applications pratiques et de détails, il n'est pas moins nécessaire et convenable que les institutions dites pratiques fassent une étude générale comparée des industries similaires d'une même grande branche industrielle, et s'élèvent des détails d'exécution aux explications théoriques. L'enseignement professionnel supérieur, comme on est convenu de l'appeler, doit être à l'industrie ce que les écoles militaires sont à l'armée. Quoiqu'on n'en sorte que simple officier, on y puise les connaissances suffisantes pour s'élever successivement aux grades les plus élevés.

Quant aux écoles spéciales existantes dites de filature et de tissage, nous pensons qu'il pourrait y avoir utilité à y propager au moins partiellement le programme ci-dessus. Pour le démontrer, nous ne pouvons nous dispenser d'entrer dans quelques détails techniques. Dans une école pratique où l'on ne s'est jusqu'ici occupé que de la filature du coton, par exemple, et où nous supposons que déjà la théorie et la pratique de la spécialité marchent de front, il sera intéressant et utile d'initier l'élève aux moyens par lesquels on arrive au même but avec les autres filaments; de faire ressortir les modifications et le nombre des machines, par assortiment, tendant au même résultat, et d'expliquer les causes de ces différences en s'appuyant sur les considérations préliminaires présentées dans l'étude des caractères des diverses matières premières et des principes sur lesquels reposent les moyens et les procédés. La comparaison de l'état relatif d'avancement de chacune des spécialités en ressortira pour ainsi dire spontanément. Les moins en progrès s'inspireront et seront stimulés par leurs similaires. Bien des améliorations se sont ainsi réalisées en faveur même de celles qui occupaient le premier rang. Le peignage du coton, par exemple, jugé longtemps impossible, introduit dans ces dernières années pour certaines sortes, a été la conséquence de l'invention et l'application d'une pei-

gneuse automatique rationnelle à la laine. Certains moyens de préparer celle-ci, la répétition et la réglementation des étirages, ne sont à leur tour que des modifications de ceux antérieurement en usage dans le coton. Le lin et la bourre de soie ont aussi emprunté certains procédés au travail do la laine peignée. Les causes pour lesquelles les moyens analogues pour arriver à des résultats similaires ne peuvent rester identiques offrent précisément les éléments les plus instructifs et forment la partie la plus féconde de l'enseignement de chacune des sections. Seulement il y aura lieu de donner à cette partie plus ou moins de temps, suivant l'institution où elle sera enseignée.

Pour le tissage de chaque genre, il y a des considérations, des analyses et des comparaisons du même ordre à présenter. La connaissance exacte des caractères et propriétés de chaque espèce de fils permettra d'expliquer les motifs pour lesquels il y a tant de différence dans les facilités du travail des différentes matières, toutes choses égales d'ailleurs; et comme le tissage automatique est moins avancé dans telle spécialité que dans telle autre, l'analyse de ces causes indiquera naturellement la meilleure direction à suivre pour atteindre le progrès. Une telle étude ne saurait manquer de contribuer à étendre les ressources de ceux qui s'y livrent, d'offrir des palliatifs sérieux dans certaines crises en permettant au personnel de passer plus facilement dans un moment donné de sa spécialité à la similaire. C'est ce qui serait arrivé précédemment pour les ouvriers du coton qui ont cherché du travail dans la fabrication des lainages, et qui pourrait se réaliser actuellement dans la fabrication des soieries de luxe, si supérieure, mais trop exclusive à Lyon. Cet article, déjà trop long pour le cadre que nous nous sommes imposé, ne nous permet pas d'entrer dans les détails que ce côté si intéressant cependant de notre sujet comporte.

Nous ne pouvons cependant terminer cette note sans nous arrêter un instant sur ce qu'on appelle parfois les écoles d'apprentissage, c'est-à-dire ces écoles où la spécialisation est inconsidérément portée à sa limite extrême. Les Flandres et certaines de nos localités ont des écoles de ce genre. Elles consistent à faire acquérir une habileté de main pour obtenir un résultat déjà obtenu en grande proportion par le travail automatique, dont l'application se propage chaque jour et ne saurait manquer de faire

une concurrence de plus en plus redoutable à la main d'œuvre. Chercher à prolonger cette lutte, c'est, selon nous, s'entêter à ne pas faire la part nécessaire du feu dans un incendie. Le travail manuel n'a de sécurité dans l'avenir, disons-le, que pour des produits exceptionnels, où la question du prix de la main d'œuvre est secondaire : tels sont les tapis et les tapisseries des Gobelins, par exemple, la fabrication de certaines dentelles; naguère encore on aurait pu y ajouter quelques autres articles et entre autres les filets; mais depuis qu'il est démontré que les machines, tout en faisant meilleur marché font mieux, cette dernière spécialité est dévolue aux individus pour lesquels le temps n'a presque pas de valeur, aux enfants et aux vieillards de certains ports de mer. Les opérations de la dentellerie, ces colonnes d'Hercule de la main d'œuvre, ne sont plus elles-mêmes complétement à l'abri de la concurrence des machines. On entrevoit le moment où tout un groupe de ces produits sera obtenu automatiquement, comme le sont les tulles dans leurs variétés si nombreuses, et dont la production atteint des centaines de millions chaque année. Ce serait manquer de prévoyance si, en présence de ces transformations extraordinaires, conséquence de la substitution des machines à la main, on ne cherchait à parer aux conséquences qui en résultent, et si le passé ne servait d'avertissement à l'avenir. Qui ne connaît la détresse dans laquelle des masses de travailleurs, même des plus habiles, se sont parfois trouvés momentanément, par suite de l'invasion des machines d'une perfection telle, que la concurrence n'était plus possible? Ce qui s'est passé entre autres pour le peignage de la laine, ce qui existe encore pour le tissage de certains articles, démontre l'imprudence qu'il y aurait à faire des écoles d'apprentissage pour des spécialités dans lesquelles l'exécution manuelle est destinée à disparaître. Nous n'avons pas à discuter pour le moment si cette substitution est un bien ou un mal, nous n'avons qu'à rappeler cette révolution dont nous sommes tous témoins, pour insister sur la nécessité d'augmenter la somme des connaissances techniques de ceux que cette transformation touche de près ou de loin, beaucoup ou peu. Mais autant vaudrait, selon nous, faire des écoles pour filer à la quenouille, au fuseau et au rouet, que de faire des écoles pour apprendre à faire mouvoir le plus habilement possible les marches d'un métier à tisser, la navette, le battant et les en-

souples. Le jour où le tisserand épuisé ne pourra plus sou
la concurrence des métiers automatiques, il sera tenté d'
dans son malheur, comme les enfants qui frappent les o
qui les ont blessés. Mais si une éducation modeste et intellig
lui permet d'utiliser directement ou indirectement son te
par suite de l'installation même d'une machine nouvelle
n'aura qu'à s'en louer. Ce résultat ne peut être obtenu que p
propagation de l'instruction technique convenablement entend
Elle est la seule contre laquelle il n'y a pas une objection
rieuse à faire. Ceux même qui craignent l'influence de la p
pagation de l'instruction en général, à cause des mauvais liv
n'ont rien à lui opposer. La diffusion des connaissances tech
ques, lors même qu'elle n'aurait pas l'efficacité que nous
supposons, aurait toujours des conséquences sociales plus
moins avantageuses, qui peuvent se réaliser sur un terrain ne
et pacifique où ne peut surgir aucune dissidence d'opinions.
ne saurait donc trop propager des connaissances de cet ordre
se hâter trop de combler les lacunes existantes. Nous croy
en avoir signalé une des plus considérables dans la dispro
tion relative de l'enseignement de l'une des plus grandes br
ches industrielles, sous le rapport de ses résultats et du nom
des connaissances dont elle fait son profit.

Paris. — Imprimerie P.-A. BOURDIER et Cie, rue des Poite

Fig. 1.

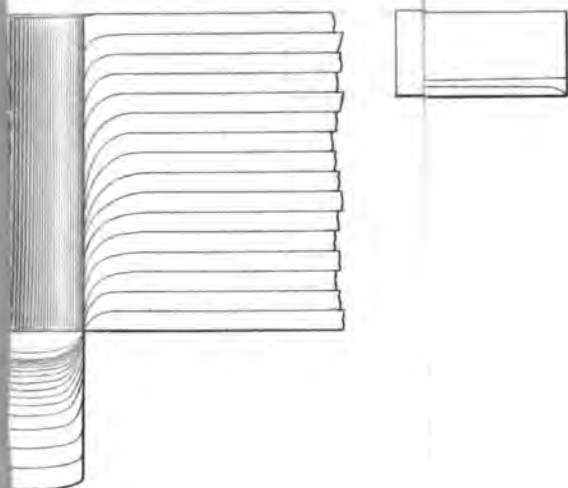


Fig. 4.

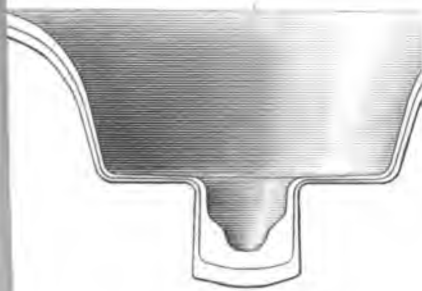
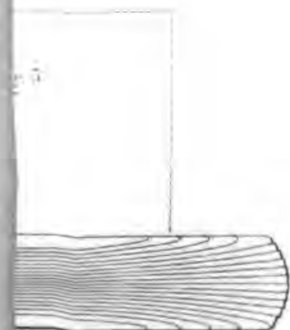


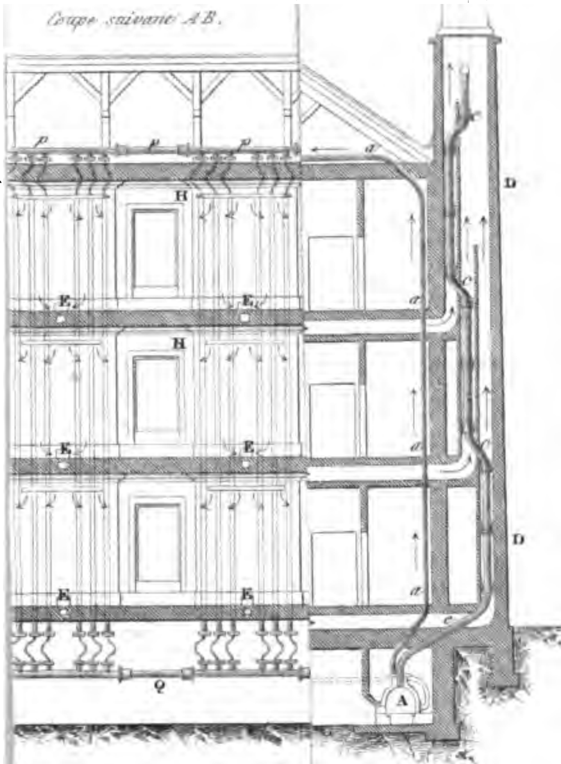


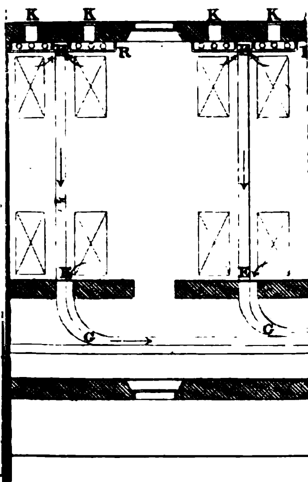
Fig. 5.



PROJET DE M. GU

Fi





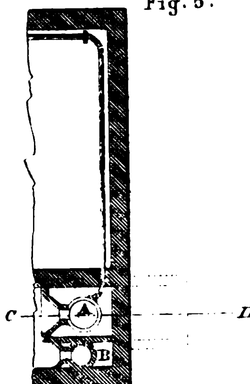


Fig. 5.

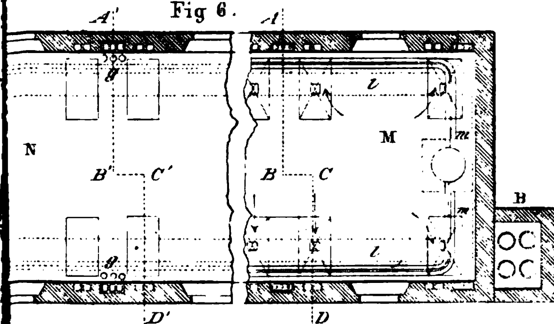
Echelle 0,004.

...t A'B'C'D'.

Coupe suivant ABCD.

Fig. 5.

...T DE M. D'HAMELINCOURT. (Sans corridor.)



Plan

Echelle 0,00?

Fig. 3.

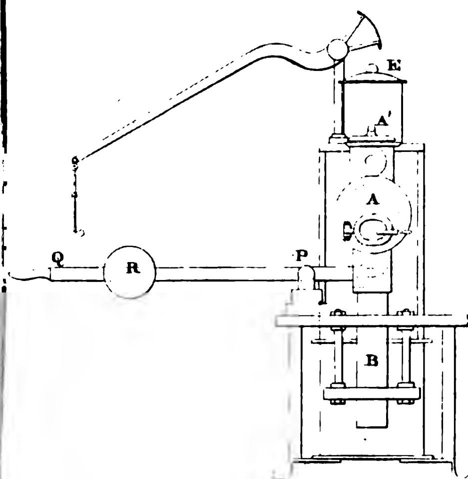
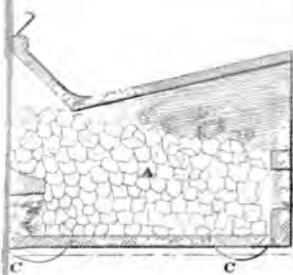
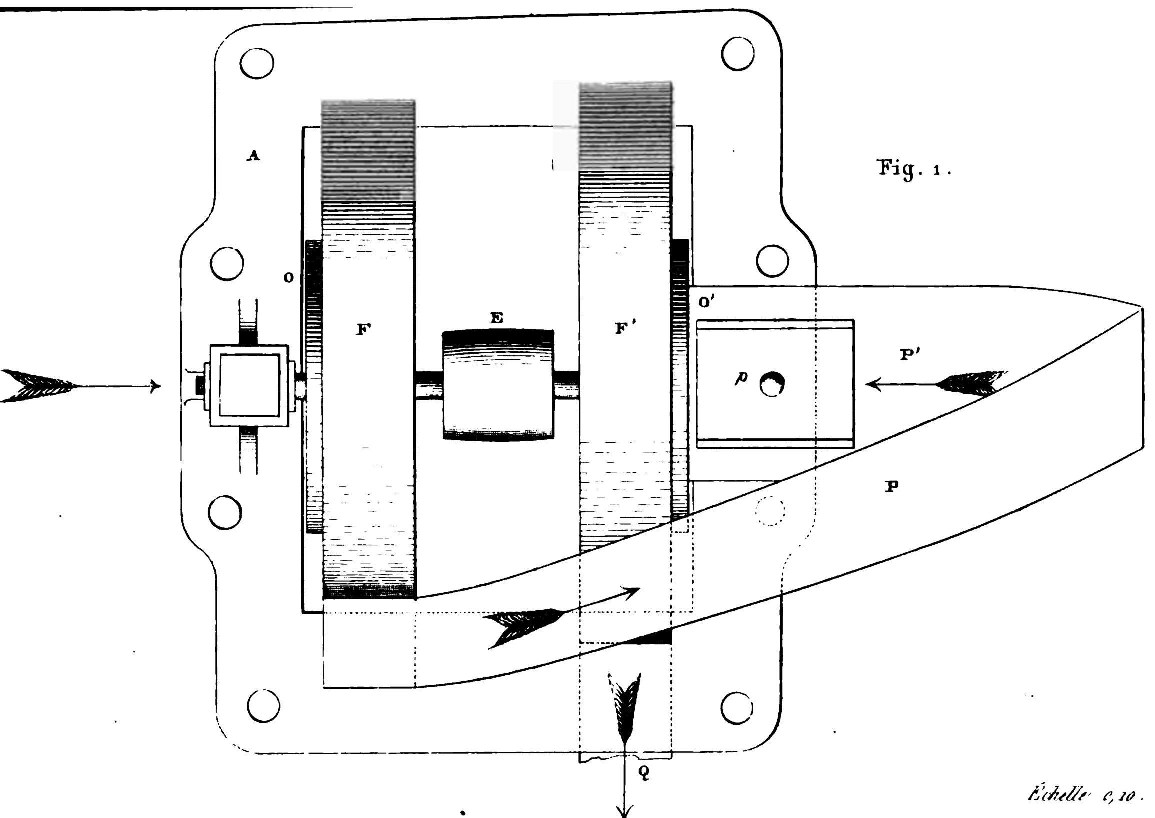


Fig. 4.




Fig. 1.
A
O
F
E
F'
O'
p
P'
P
Q
Échelle 0,10.

NOTE SUR UN MODÈLE

D'UNE

SURFACE RÉGLÉE DU TROISIÈME ORDRE

PAR M. DE LA GOURNERIE.

---

1. Dans une communication faite à l'Académie des sciences, le 3 juin 1861, M. Chasles a montré que les surfaces réglées des troisième et quatrième ordres peuvent être obtenues par des déformations de l'hyperboloïde à une nappe, et il a exprimé le désir que quelques-uns des modèles de cette surface que contiennent les collections du Conservatoire des arts et métiers fussent appropriés à ces déformations. J'ai examiné minutieusement cette question; je crois qu'il y aurait quelques difficultés à modifier les modèles existants, et qu'il est préférable d'en faire de spéciaux pour les surfaces réglées des troisième et quatrième ordres. J'ai, en conséquence, préparé quelques épures, et je ferai exécuter des modèles au fur et à mesure que le permettront les fonds très-peu considérables qui peuvent être consacrés à cette partie des collections.

Un premier modèle à fils vient d'être construit par M. Dulos, qui a dû préalablement en tracer sur cuivre les épures définitives, car mes dessins ne pouvaient pas présenter une exactitude suffisante. J'ai pensé que je doublerais l'utilité de ce travail en faisant graver les planches qui se trouvaient ainsi préparées, et insérant les épures dans nos *Annales* avec une courte notice. Eu égard au format, j'ai supprimé le dessin de la partie supérieure du modèle, sur une hauteur de deux centimètres. Par suite de cette circonstance, les figures ne présentent pas une symétrie parfaite.

La surface représentée est du troisième ordre. Elle appartient à la première variété de la première espèce (classification de M. Chasles).

2. *Notions sommaires sur la génération et la classification des surfaces réglées du troisième ordre.* Je rappellerai d'abord quelques généralités qu'il est nécessaire d'avoir présentes à l'esprit.

Tout plan passant par une génératrice d'une surface réglée est tangent en un point, et ce point est double dans la section de la surface par le plan. Si la surface est du troisième ordre, son intersection avec un plan contenant une génératrice est complétée par une conique, et, d'après ce que je viens de dire, le système de ces deux lignes a un point double. La droite et la conique se rencontrent donc effectivement, et, par suite, elles ont deux points communs réels. Le second ne peut pas correspondre à un contact comme le premier; il appartient nécessairement à une ligne d'intersection de la surface avec elle-même. On voit ainsi qu'une surface gauche du troisième ordre possède une ligne nodale qui rencontre toutes les génératrices. C'est une droite, puisqu'elle ne perce un plan qu'en un point. Les raisonnements qui précèdent ne s'appliquent, il est vrai, qu'au cas où le plan est tangent, mais cela suffit à la rigueur; et d'ailleurs, pour prouver que la ligne nodale ne rencontre un plan non tangent qu'en un point, il suffit de remarquer que la section de la surface par un tel plan est une courbe du troisième ordre, et par suite ne peut avoir qu'un point double.

En résumé, *toute surface réglée du troisième ordre a une directrice rectiligne double.*

On sait que quatre droites situées d'une manière quelconque dans l'espace sont rencontrées par deux transversales rectilignes, et deux seulement, à moins que les droites n'appartiennent à un hyperboloïde. Si ce sont des génératrices d'une surface gauche du troisième ordre, l'une des transversales est la directrice double qui est toujours réelle, l'autre transversale est donc aussi réelle, et comme elle a quatre points sur la surface, elle s'y trouve tout entière.

Toute surface réglée du troisième ordre a une directrice rectiligne simple.

3. La surface est dite de première ou de seconde espèce, suivant que les deux directrices rectilignes sont distinctes ou confondues.

On peut prendre arbitrairement pour directrices d'une surface gauche du troisième ordre et de la première espèce une conique et deux droites, sous la seule condition que l'une des droites, celle qui doit être double, rencontre la conique (art. 2).

Pour avoir les deux génératrices qui se croisent à un point de la directrice double, il faut prendre les intersections, avec la conique, d'un plan passant par ce point et par la directrice rectiligne simple. On obtient ainsi deux points situés respectivement sur les génératrices cherchées. Quand la directrice simple passe dans l'intérieur de la conique, le plan coupe toujours cette courbe, et deux génératrices réelles se croisent à tout point de la directrice double. La surface appartient alors à la première variété de la première espèce.

Lorsque la directrice simple passe dans l'intérieur de la conique, quelques-uns des plans que l'on mène par cette droite coupent la courbe, les autres ne la rencontrent pas : les premiers seuls donnent des génératrices. Les deux plans qui contiennent la directrice simple et qui touchent la conique coupent la directrice double en deux points, et la divisent ainsi en deux segments, dont un contient un point à l'infini. Les points situés sur un des segments appartiennent tous à deux génératrices; ceux de l'autre ne sont sur aucune génératrice. La directrice double a ainsi une partie utile et une partie parasite. La surface, dans ce cas, est de la seconde variété de la première espèce.

On reconnaît facilement que si la directrice simple rencontre la conique, la surface se décompose en une hyperboloïde et un plan contenant la directrice double. Cette dernière droite n'est alors double que dans le système des deux surfaces.

Je ne m'arrêterai pas aux surfaces de la seconde espèce.

4. *Directrices géométriques de la surface*. La surface dont j'ai fait construire un modèle est représentée sur les figures 1, 2 et 3. La première est une projection horizontale; les deux autres, des projections verticales sur les plans $Y_1 X_1$ et $X_1 X$ (*fig.* 1).

Les directrices sont : 1° le cercle horizontal (APQ, $\alpha A' \beta$,

$A''E''$) (*fig.* 1, 2, 3); 2° la verticale (A, GF, $G'A''F'$); 3° la droite inclinée (RCS, $R'A'S'$, $R''C''S''$).

La première des deux droites rencontre le cercle; c'est la directrice double; elle n'a pas de partie parasite, parce que la seconde droite traverse le plan du cercle en un point C' situé dans l'intérieur de cette courbe.

Les génératrices qui correspondent aux points P, Q, A, E du cercle (*fig.* 1) présentent un intérêt particulier. Les deux premières sont verticales, la troisième est parallèle à la directrice simple, la quatrième est dans le plan horizontal qui contient le cercle. Ces génératrices remarquables devaient nécessairement se trouver sur le modèle. Il fallait de plus que les génératrices représentées se rencontrassent deux à deux sur la directrice double, et pour cela que leurs traces sur le plan du cercle fussent deux à deux sur des droites passant par le point C.

Afin de satisfaire à ces diverses conditions et de distribuer les génératrices d'une manière régulière, j'ai mené par le point C (*fig.* 1), et à partir de la ligne CA, des droites comprenant entre elles des angles de 9°. J'ai obtenu ainsi quarante points sur le cercle et j'ai déterminé les génératrices correspondantes. Celles dont les cotes diffèrent de vingt unités se coupent sur la directrice double.

Il a été facile de tracer les projections horizontales des génératrices (*fig.* 1), parce qu'elles passent toutes par le point A, trace de la directrice double. Leurs projections sur les deux plans verticaux ont été obtenues à l'aide des points où ces droites rencontrent le cercle et la directrice rectiligne simple.

5. *Directrices de construction.* Le modèle est limité à quatre plans XX_1, ZZ_1, XZ, X_1Z_1 (*fig.* 3). Les deux derniers sont parallèles aux deux directrices rectilignes; les deux autres, horizontaux et situés à des distances égales du plan du cercle, l'un au-dessus, l'autre au-dessous[1]. Il a été nécessaire de déterminer les traces des quarante génératrices sur ces plans.

Je dois dire quelques mots des lignes du troisième ordre, qui sont les traces de la surface sur les quatre plans limites, et qui

1. Sur les figures jointes à cette note, le plan Z_1Z a été abaissé de 2 centimètres, ainsi qu'il a été dit à l'article 1.

forment les directrices de construction. Chacune d'elles a un point double sur la directrice rectiligne double; elles sont donc de la quatrième classe.

Sur la figure 1, nous avons les deux courbes MAQSVAPI et NAPRUAQJ. Ce sont les intersections de la surface avec les plans ZZ_1 et XX_1 (*fig.* 3). Je ne m'occuperai que de la première.

La courbe MAI a une branche infinie qui correspond à la génératrice 10, la seule qui soit horizontale.

On connaît les plans tangents de la surface aux trois points où une génératrice déterminée rencontre les trois directrices; il est par suite facile de construire le plan tangent au point situé à l'infini sur cette droite, et de tracer l'asymptote de la section pour un plan parallèle à celui-là. Sans rappeler en détail la solution de ce problème[1], je me borne à indiquer la construction de l'asymptote L*l* parallèle à la génératrice 10.

J'ai tracé sur CA (*fig.* 1) le segment C*m*A capable de l'angle FA'S' (*fig.* 2) que comprennent les plans tangents en C et en A (*fig.* 1); la projection du point *m* sur la droite 10 serait le point central de cette génératrice. J'ai mené la droite E*m* et j'ai pris Ex_1 égal à D''Z (*fig.* 3) : la longueur xx_1 est la distance de l'asymptote L*l* à la droite 10. Une construction analogue ferait trouver la tangente de la courbe MAI en un point quelconque.

La longueur de l'arc MAI est trop petite pour que l'asymptote L*l* soit utile à son tracé. Je dois remarquer que le bras API coupe la droite L*l* avant de s'en rapprocher indéfiniment.

La courbe MAI appartient à la famille des hyperboles défectives dépourvues de diamètre. Elle est de la trente-quatrième espèce des courbes du troisième ordre, dans la classification de Newton (trente-huitième d'après Stirling).

6. Occupons-nous maintenant des courbes I'A'J' et M'A'N' (*fig.* 2), suivant lesquelles la surface est coupée par les plans XY et X_1Y_1 (*fig.* 1).

Ces plans sont parallèles aux génératrices 10, 20 et 30. Chacune

1. Voir ma *Géométrie descriptive*, art. 845, 846.

des deux sections possède, par conséquent, trois asymptotes. On obtient facilement celles qui sont parallèles aux génératrices 10 et 30, car les plans tangents aux points infiniment éloignés de ces droites contiennent la directrice double. Ce sont, par conséquent, les plans verticaux qui ont respectivement pour traces horizontales les droites AP et AQ (*fig.* 1). Les points φ et ψ appartiennent aux asymptotes qui correspondent à la génératrice 10, et les déterminent (*fig.* 2). Celles qui correspondent à la génératrice 30 ont des positions symétriques par rapport à la droite GF.

La génératrice 20 est parallèle à la directrice simple. Le plan qui contient ces deux droites touche la surface au point infiniment éloigné où elles se rencontrent; il contient la troisième asymptote de la section de la surface par le plan XY, et il la projette sur sa trace R'S', car il est perpendiculaire au plan de projection de la figure 2. La branche qui correspond à cette asymptote ne pénètre pas sur la figure.

La droite R'S' est également asymptote de la section de la surface par le plan X_1Y_1.

Les courbes I'A'J' et M'A'N' sont des hyperbolismes ayant un centre. Elles appartiennent à la cinquante-neuvième espèce des courbes du troisième ordre dans la classification de Newton (soixante-deuxième d'après Stirling).

7. *Contours apparents*. Le contour apparent de la surface sur un plan quelconque est de la troisième classe. Ce contour sur un plan horizontal se réduit aux trois points A, P, Q (*fig.* 1), traces de trois droites situées sur la surface, et verticales.

Sur la figure 2, le point A' est la projection d'une génératrice; la courbe de contour apparent descend par suite à la seconde classe. C'est donc une conique.

Le plan qui contient la génératrice 20 et la directrice rectiligne simple est, comme nous l'avons déjà dit, tangent à la surface au point infiniment éloigné où ces droites se rencontrent; comme d'ailleurs ce plan est perpendiculaire au plan de projection de la figure 2, sa trace R'S' est asymptote du contour apparent qui, par suite, doit être une hyperbole.

Si nous prenons les longueurs A'α et A'β égales au rayon du cercle AE, les points α et β appartiendront évidemment au con-

tour apparent. On reconnaît ainsi que le point A' est le centre de l'hyperbole, puisqu'il est sur une asymptote, et qu'il divise une corde en deux parties égales.

La section de la surface par un plan contenant la génératrice 10 est une conique qui passe au point A (art. 2). Suivant que la trace verticale du plan coupera ou ne coupera pas l'hyperbole de contour apparent, la section sera une ellipse ou une hyperbole. Elle deviendra une parabole lorsque la trace du plan se confondra avec une asymptote du contour apparent.

Nous venons de voir que l'asymptote R'S' était la trace du plan qui contient la directrice rectiligne simple et la génératrice 20; ces deux droites parallèles représentent une parabole; elles forment une transition entre les ellipses et les hyperboles.

La seconde transition est la parabole suivant laquelle le plan coupe la surface lorsqu'il la touche à l'infini. L'angle qu'il forme avec le plan du cercle est alors égal à mEA (*fig.* 1) (art. 5). L'asymptote KA'T du contour apparent (*fig.* 2) fait donc avec $\alpha\beta$ un angle KA'α égal à mEA (*fig.* 1).

8. Le contour apparent sur le plan de la figure 3 reste de la troisième classe, parce que la surface n'a pas de génératrice perpendiculaire à ce plan. Les génératrices 10 et 30 se projettent sur une même droite R''S''; le contour apparent a donc une tangente double, et cette courbe, qui sans cela serait du sixième ordre, s'abaisse au quatrième.

Mais pour qu'une courbe du quatrième ordre ne soit que de la troisième classe, il faut qu'elle ait trois rebroussements. Dans la disposition que j'ai choisie, l'un d'eux est au point E'' projection de E; les deux autres sont imaginaires.

Si la directrice simple passait en dehors du cercle, les génératrices 10 et 30 (*fig.* 1) seraient imaginaires, la droite K''S'' (*fig.* 3) disparaîtrait, et le contour apparent n'ayant plus de tangente double réelle, les branches qui partent de A'' et celles qui viennent de E'' se rejoindraient avec rebroussement.

NOTE

sur les moyens à employer pour rafraîchir l'air

DANS LES ÉDIFICES PUBLICS OU PRIVÉS

PAR M. LE GÉNÉRAL MORIN.

Les conditions principales auxquelles doivent satisfaire les dispositions à prendre pour assurer l'arrivée de l'air nouveau et l'extraction de l'air vicié dans les lieux habités que l'on se propose d'assainir par une ventilation régulière, étant de faire affluer le premier le plus loin et d'extraire le second le plus près possible des personnes, l'on est souvent conduit à établir dans les parties supérieures des édifices, dans les combles, des chambres de mélange d'où l'air chaud fourni par les appareils de chauffage, après avoir été mêlé avec une certaine proportion d'air froid, pénètre par les plafonds à une température modérée dans les locaux qu'il s'agit à la fois de chauffer et de maintenir salubres.

Mais cette disposition convenable pour les saisons d'hiver, de printemps et d'automne, et qui est très-souvent la seule que l'on puisse adopter pour des édifices déjà construits, présente, pour la saison d'été, l'inconvénient de faire arriver dans les salles à ventiler de l'air qui, en traversant les combles, a acquis une température très-notablement supérieure à celle de l'air extérieur, ce qui, dans cette saison, empêche d'atteindre un des buts principaux que se propose la ventilation, c'est-à-dire la modération de la température intérieure.

Cette difficulté s'est présentée pour nous à l'occasion du grand amphithéâtre du Conservatoire impérial des arts et métiers, et lorsqu'il s'est agi du projet qui nous a été demandé pour le

chauffage et la ventilation de la salle des séances de l'Institut. Elle existe pareillement pour la salle des séances de la Société d'encouragement, et se reproduirait presque toujours l'été, quand les conditions locales n'auraient pas permis de puiser directement dans l'atmosphère, en le faisant passer par des caves suffisamment salubres et vastes, l'air nouveau que l'on devait faire affluer dans les salles. Elle est due à l'échauffement des toitures produit par les rayons solaires pendant le jour, et à l'élévation durable de température qui en résulte dans l'intérieur des combles et qui persiste même après le coucher du soleil : cet effet, sensible avec tous les genres de couvertures des bâtiments, l'est surtout quand on a employé le cuivre ou le zinc posé sur des voligeages minces, et plus encore quand une partie de la couverture est formée par des vitrages.

L'inconvénient de l'échauffement de l'air dans les combles et dans les parties supérieures des édifices n'est pas seulement un obstacle pour l'organisation d'une bonne ventilation pendant l'été, il se fait sentir parfois d'une manière fort incommode dans beaucoup d'autres cas.

Les logements, les ateliers établis sous les combles y sont soumis, et deviennent par cela seul très-insalubres. Si l'ouverture des fenêtres, des châssis vitrés le diminuent sous un certain rapport, ils en aggravent parfois les conséquences par les courants d'air auxquels donnent passage des orifices d'admission trop peu nombreux : en plein jour, ces ouvertures, même permanentes, ne suffisent pas pour modérer la température, et il n'est pas rare de voir, dans les ateliers placés sous les combles, le thermomètre monter à 40 ou 45 degrés, alors que la température extérieure, à l'ombre, ne dépasse pas 30 à 32 degrés.

Les gares des chemins de fer, malgré les ouvertures permanentes réservées vers le faîtage et à leurs extrémités, sont, pendant l'été, de véritables étuves dont le séjour est extrêmement pénible, et même dangereux pour les agents obligés de manœuvrer le matériel. Dans l'immense gare du chemin de fer de Lyon à Paris, le 8 juillet dernier, la température a dépassé 40 degrés; dans le courant du même mois, elle s'est élevée à 46 degrés à la gare du chemin de fer de l'Est, et dans celle de Strasbourg à plus de 48 degrés.

La recherche des moyens à employer pour éviter cet échauf-

fement excessif et incommode de l'air dans les parties supérieures des édifices n'est donc pas moins intéressante au point de vue des gares, des manéges, des salles de réunion, des ateliers, qu'à celui des édifices qui doivent être ventilés, et l'on verra par ce qui suit que les solutions qui paraissent devoir être préférées pour ceux-ci s'appliqueraient également et à peu de frais pour ceux-là.

Ces solutions sont de deux genres : les unes ont pour but de refroidir l'air que l'on se propose d'introduire; les autres, celui de s'opposer à l'échauffement préalable des lieux par lesquels cet air doit être admis. Ces deux modes peuvent être employés concurremment pour atteindre le but final, qui est de modérer ou d'abaisser la température des lieux occupés.

Emploi de l'eau divisée à l'état pulvérulent pour rafraîchir l'air.

L'observation journalière du rafraîchissement que la moindre pluie produit dans l'air a depuis longtemps conduit à imiter ce moyen naturel. Les jets d'eau, où le liquide très-divisé retombe dans des bassins, sont généralement utilisés en Orient dans ce but, et les dispositions adoptées au Parlement anglais offrent une application ingénieuse de la même idée. Au-dessus et en avant de chacune des larges baies qui permettent à l'air extérieur de s'introduire dans la grande chambre à air qui règne sous les salles d'assemblée, on a disposé un très-petit tuyau percé d'ouvertures d'un faible diamètre, par lesquelles, sous la pression considérable des conduites de distribution d'eau de la ville, s'échappe une véritable poussière d'eau presque imperceptible à l'œil. L'air extérieur, introduit par appel, traverse cette poussière d'eau, se sature à peu près d'humidité, et se refroidit soit par contact avec les molécules liquides, soit en abandonnant une partie de sa chaleur à l'eau qu'il dissout pour se saturer. On prétend à Londres obtenir par ce moyen un abaissement de 4 à 5 degrés [1] de la température de l'air.

Ce procédé nous ayant paru rationnel, nous avons cherché à en déterminer les effets réels, et comme l'on sait aussi que

1. *Études sur la ventilation*, vol. I, page 15.

l'évaporation de l'eau détermine dans l'air une modification électrique que l'on regarde comme favorable à la salubrité, nous avons en même temps cherché à observer cet effet.

Déjà, en 1863, de premières observations[1] nous avaient permis de constater que l'air qui traverse une nappe d'eau, divisée de manière à être réduite à peu près en poussière, se refroidit un peu, et manifeste, à l'aide de papier ioduro-amidonné, la présence de ce qu'on nomme l'*oxygène actif*.

Pour nous assurer si ces premiers résultats pouvaient être appliqués d'une manière efficace au rafraîchissement de l'air à introduire dans les amphithéâtres, nous avons fait les expériences suivantes.

Expériences faites en juillet et août 1864.

La baie de 5^{mq},95 de superficie qui permet l'accès de l'air froid de l'extérieur dans la chambre à air établie au-dessus du grand amphithéâtre a été entourée latéralement et recouverte supérieurement par des cloisons en planches. En avant de cette baie, un tuyau en plomb terminé par une pomme d'arrosoir de forme rectangulaire, très-allongée dans le sens vertical, permettait de lancer devant l'orifice un jet d'eau divisé à l'état pulvérulent, et qui, sans pénétrer dans le grenier, pouvait cependant mouiller et rafraîchir le courant d'air appelé par l'action de la cheminée d'évacuation.

Une pompe manœuvrée à bras d'hommes puisait dans un bassin de l'eau préalablement rafraîchie, parfois avec de la glace, et la refoulait par la pomme d'arrosoir en avant de l'entrée de la chambre à air.

Le volume d'eau dépensé par heure était exactement mesuré, et sa température observée d'heure en heure.

Les températures de l'air extérieur, avant et après son passage par le registre, dans la chambre à air en différents endroits et dans l'amphithéâtre étaient également observées.

Enfin, des papiers préparés à l'amidon ioduré étaient disposés

1. Voir les Comptes rendus des séances de l'Académie tenues page 720, t. LVII, 1863.

en plusieurs points de cette chambre pour constater les modifications que l'air avait pu subir.

Les observations ont commencé habituellement de 10 heures à 11 heures et ont duré chaque fois jusqu'à 5 heures du soir. Mais, pour ne présenter que les résultats relatifs à des périodes où l'on pouvait regarder le régime comme établi, et l'effet à observer comme produit, nous ne rapporterons que ceux qui sont relatifs à l'intervalle de midi à trois heures.

Ces effets étaient assez complexes, attendu qu'en même temps que, par son passage à travers la poussière d'eau, l'air introduit devait se rafraîchir dans une certaine proportion, les parois du toit étaient à l'inverse réchauffées par l'action du soleil.

Il convient donc d'isoler les résultats des observations faites aux différents endroits, pour chercher à apprécier l'influence assez faible de chacune de ces circonstances particulières.

C'est ce que nous avons fait dans le tableau suivant, dont nous allons examiner les conséquences.

Résultats des expériences faites au Conservatoire impérial des arts et métiers sur le rafraîchissement de l'air au moyen d'un jet d'eau à l'état pulvérulent.

DATES.	TEMPÉRATURE MOYENNE DE MIDI A TROIS HEURES.												GLACE employée.
	De l'air extérieur.	De l'air entré.	Différence.	Dans la chambre de mélange.		Différence.	Dans l'amphithéâtre.	Différence avec l'extérieur.	Dans l'amphithéâtre avant l'expérience.	Différence avec l'air extérieur.	Volume d'eau dépensé par heure.	Température moyenne de l'eau dépensée.	
				non ventilée.	ventilée.								
	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	mc.	°	k.
14 juillet..	25.08	23.50	—1.58	25.00	23.65	+1.35	21.04	—4.04	20.33	—4.75	» »	» »	» »
18 —....	26.71	24.84	—2.07	26.60	26.20	+0,40	23.15	—3.56	22.16	—4.55	1.52	20.50	» »
21 —....	27.88	25.39	—2.49	27.70	26.50	+1.20	24.03	—3.85	23.20	—4.68	1.52	21.50	» »
27 —....	26.25	23.75	—2.50	25.44	25.44	+0.03	22.79	—3.46	21.90	—4.35	1.57	19.60	16.6
28 —....	26.08	23.54	—2.54	26.82	25.00	+1.82	22.77	—3.31	22.20	—3.88	1.80	19.60	16 6
29 —....	24.15	21.42	—2.73	25.20	22.66	+2.54	22.30	—1.85	22.00	—2.15	1.90	17.20	25.0
2 août....	27.81	25.76	—2.05	28.83	27.60	+1.23	24.33	—3.47	23.70	—4.11	1.97	16.50	25.0
6 —....	26.14	25.03	—1.11	28.31	25.85	+2.46	23.78	—2.36	22.32	—3.82	1.97	13 »	32.5
		Moyenne.	—2.13		Moyenne.	+1.38	Moyenne.	—3.24	Moyenne.	—4.07			
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.

Les 2e, 3e et 4e colonnes font connaître l'effet moyen et direct du rafraîchissement produit sur l'air extérieur par son passage au travers du jet d'eau pulvérulent. On voit que la température de cet air s'est en moyenne abaissée de 2°,13 seulement. Si l'on compare les abaissements de température observés chaque jour, avec les températures de l'eau employée pour le jet, on voit qu'ils ne sont nullement en rapport avec ces températures, et que c'est le 6 août, jour où l'eau avait été refroidie à 13 degrés par l'emploi de 38k,5 de glace par heure, que le refroidissement de l'air a été le moins sensible et au-dessous de la moyenne.

Il s'ensuit que si, avec les dispositions employées, l'air se refroidit dans son passage à travers le jet d'eau à l'état pulvérulent, ce n'est pas, comme on aurait pu le croire, par son contact multiplié avec la surface des gouttelettes de l'eau, puisque la température de celles-ci paraît être sans influence notable, mais que c'est l'accroissement de l'état hygrométrique de l'air, par la vaporisation d'une certaine quantité d'eau, qui produit l'abaissement de température observé.

Mais, d'une autre part, l'état hygrométrique de l'air pendant les séances d'expériences était, d'après les observations précises de l'Observatoire de Paris, dont les résultats nous ont été communiqués par M. Le Verrier, indiqué per les chiffres suivants pour l'heure de midi :

Juillet 14 ;	18 ;	21 ;	22 ;	28 ;	29 ;	Août 2 ;	6.
0,38 ;	0,46 ;	0,39 ;	0,37 ;	0,35 ;	0,46 ;	0,36 ;	0,44.

Il aurait donc pu s'accroître très-notablement si l'air avait été sur un plus long parcours obligé de traverser le nuage pulvérulent formé par l'eau. A cet effet, il aurait fallu employer beaucoup plus d'eau, et les conditions locales ne nous permettaient pas d'augmenter la longueur de ce trajet. L'observation de deux hygromètres à cheveu placés dans la chambre de mélange n'a pas signalé de variation notable dans le degré d'humidité de l'air, et c'est ce qui explique le faible abaissement de température généralement observé, et qui n'a été en moyenne que de 2°,13.

Mais, si cet abaissement a été peu sensible avec les instruments, il n'en était pas moins très-perceptible pour nos organes, et, quand on était dans la chambre de mélange, on

éprouvait très-bien la sensation du passage d'un air légèrement frais et humide.

Enfin, il convient d'ajouter que l'eau projetée arrivait directement sur le comble, et qu'elle n'était élevée par la pompe employée que de 2 à 3 mètres de hauteur, mais que la résistance au passage à travers l'arrosoir, percé de très-petits trous pour obtenir une division suffisante de l'eau, était très-grande, et que l'effort à exercer par les hommes chargés de manœuvrer cette pompe était considérable; de sorte que, pour obtenir une semblable division de l'eau, il faudrait parfois employer une force motrice hors de proportion avec le résultat obtenu.

Quant à la modification de l'état électrique de l'air par son passage à travers l'eau très-divisée, elle a été aussi fort peu sensible: quoique cependant les papiers amido-iodurés, placés dans le courant d'air affluent et à l'abri de tout contact de l'eau, aient en réalité indiqué, par des taches légères, l'action attribuée à l'oxygène actif.

En résumé, le refroidissement immédiat qu'a éprouvé l'air en traversant un jet d'eau à l'état pulvérulent a été, non pas nul, mais peu sensible, et ne s'est élevé en moyenne qu'à 2°,13, et la modification de l'état électrique de cet air a été très-faible.

Le résultat que nous avions cherché à obtenir par ces expériences, et qui était d'introduire dans l'amphithéâtre de l'air notablement plus frais que celui de l'extérieur, était contrarié et diminué, comme nous l'avons dit, par l'échauffement produit par l'action solaire. Aussi voit-on par l'examen des 5ᵉ, 6ᵉ et 7ᵉ colonnes du tableau précédent que, dans la petite chambre de mélange, où l'air affluent n'avait pas traversé un jet d'eau comme celui qui arrivait dans la grande, la température, quoiqu'un peu plus élevée que dans celle-ci, ne la surpassait en moyenne que de 1°,38, ce qui était en définitive le résultat obtenu avec les dispositions adoptées pour les expériences. Il n'en faudrait pas conclure cependant qu'avec d'autres dispositions et avec le concours d'autres moyens, l'on n'arriverait pas à conserver à l'air de la chambre de mélange, et qui est ultérieurement introduit dans l'amphithéâtre, l'avantage de l'abaissement de température obtenu par son passage à travers le jet d'eau pulvérulent. Nous ferons voir, au contraire, par d'autres expé-

riences qu'on peut annuler l'effet de la radiation solaire, et dès lors conserver l'avantage obtenu à l'aide de ce jet d'eau.

La grande capacité de l'amphithéâtre, l'épaisseur de ses murs, abrités pour la plus grande partie de l'action du soleil, y entretiennent naturellement une température un peu inférieure à celle de l'air extérieur, quand il n'est pas occupé. Aussi les colonnes 2, 10 et 11 montrent qu'avant les expériences la température moyenne au milieu de l'amphithéâtre était de 4°,07 au-dessous de celle de l'air extérieur, et que, pendant les expériences, cette température intérieure est encore restée à 3°,24 au-dessous de celle de l'air extérieur.

On voit donc que le procédé de rafraîchissement de l'air à introduire dans un local à ventiler, en l'obligeant à traverser un jet d'eau réduit à l'état pulvérulent, est peu efficace, qu'il exige l'emploi d'une assez grande quantité d'eau, d'une force motrice assez énergique, et que, bien que son effet puisse être quelquefois utilisé, il n'y a pas lieu de se borner à son seul emploi, si l'on veut obtenir un abaissement un peu notable de la température de l'air : c'est ce qui nous a engagé à étudier les effets de divers autres moyens proposés ou mis en usage.

Refroidissement de l'air par son contact avec des surfaces froides.

Un procédé employé depuis longtemps et de diverses manières pour rafraîchir l'air consiste, comme on le sait, à le forcer à lécher, dans son parcours, des surfaces métalliques mouillées d'eau froide du côté opposé à celui par lequel il les touche. Un dispositif de ce genre est établi à l'Institut depuis plusieurs années pour le service de la salle des séances, et il produit en effet un abaissement notable de la température de l'air qui le traverse. Il consiste en deux grands coffrages en tôle, toujours remplis d'eau qu'y renouvelle incessamment une pompe placée dans les caves. Des tuyaux cylindriques, traversant ces coffres et la masse d'eau qu'ils contiennent, livrent passage à l'air, qu'y refoule un ventilateur placé dans les combles et manœuvré par des hommes. Cet air se rafraîchit dans ce parcours, et vient déboucher à l'extrémité de la salle des séances par un grillage à fleur du parquet.

Nous n'avons pas à nous occuper des inconvénients que pré-

sente ce dispositif au point de vue du bon emploi de la force motrice, ni de ceux que peut avoir pour les membres de l'Institut voisins de cette grille le courant d'air frais qui les atteint vers les jambes et vers les reins; nous nous bornerons à dire que nous ne possédions et n'avons pu nous procurer, sur les résultats obtenus, aucune donnée d'expériences certaines, ni sur le rafraîchissement, ni sur le volume de l'air ainsi répandu dans la salle.

Afin de savoir s'il y avait avantage, et, par conséquent, lieu à recourir à un procédé de ce genre pour les dispositions que nous pourrions proposer comme moyen de ventiler cette salle pendant l'été, il nous a semblé que ce qu'il y avait de mieux à faire était d'organiser un dispositif spécial d'observation fonctionnant d'une manière analogue.

A cet effet, nous avons fait installer dans les galeries d'expérimentation du Conservatoire des arts et métiers un appareil composé ainsi qu'il suit :

Une espèce de cheminée cylindrique en briques, de $0^m,694$ de diamètre intérieur, et de $0^m,91$ de diamètre extérieur, sur $3^m,56$ de hauteur, reçoit à son intérieur un serpentin formé d'un tuyau en fer forgé de $0^m,037$ de diamètre extérieur et de $0^m,029$ de diamère intérieur, enroulé en spires de $0^m,56$ de diamètre moyen. La longueur totale des spires, au nombre de 55, est de 90 mètres, et leur surface extérieure refroidissante est de $10^{mq},44$.

Entre les spires et selon l'axe de la cheminée s'élève un tuyau vertical en tôle de $0^m,41$ de diamètre, fermé aux deux extrémités, et qui forme une espèce de noyau plein, de sorte que l'air qui s'introduit par quatre ouvertures ménagées au bas de la cheminée ne peut s'écouler que par l'espace annulaire compris entre la paroi intérieure de cette cheminée et la surface extérieure du noyau, en léchant en dedans et en dehors la surface du serpentin; l'aire libre de cette section annulaire est égale à $0^{mq},1295$.

L'extrémité supérieure du serpentin sort de la cheminée et communique avec un petit réservoir toujours rempli d'eau, à une température maintenue à peu près constante pour chaque expérience, mais que l'on a fait varier de l'une à l'autre, en mettant de la glace dans le bassin. L'extrémité inférieure du serpentin versait l'eau dans un vase dont la capacité connue servait

à jauger le volume d'eau dépensé. On pouvait donc, dans les expériences, connaître le volume Q de l'eau écoulée, ses températures t à l'entrée dans le serpentin, et T à sa sortie, puis en déduire la chaleur qu'elle avait absorbée dans son parcours par la formule 1000 Q (T-t) calories.

Afin de déterminer, dans l'intervalle annulaire de la cheminée, le courant d'air dont on voulait abaisser la température et faire en sorte qu'il eût une vitesse assez notable pour que son volume ne fût pas trop faible, on a eu recours à un tirage artificiel déterminé par un tuyau cylindrique en zinc de $0^m,30$ de diamètre, raccordé par une partie tronconique avec le sommet de la cheminée de briques. Dans ce tuyau de zinc l'on a placé un jeu de 17 becs de gaz pouvant brûler jusqu'à 1,400 litres de gaz par heure. Une petite ouverture, pratiquée dans le tuyau cylindrique au-dessous et suffisamment loin des becs de gaz, permettait d'introduire un anémomètre et un thermomètre pour déterminer la vitesse et la température t' de l'air sortant; on connaissait d'ailleurs la température initiale T' qui était celle de la galerie.

A l'aide de ces dernières données, on pouvait donc calculer la quantité de chaleur enlevée à l'air par son contact avec la surface froide du serpentin. En nommant V le volume d'air écoulé par heure, T' et t' les températures initiale et finale, d sa densité correspondant à sa température moyenne $\frac{T'+t'}{2}$, l'on obtenait cette quantité de chaleur par la formule

$$V \times d \times (T'-t') \times 0,237 \text{ calories.}$$

Le rapport de la quantité de chaleur absorbée par l'eau à celle que l'air avait perdue était

$$\frac{1000\, Q\, (T-t)}{V \times d \times (T'-t') \times 0,237},$$

et il exprimait ce que l'on peut nommer le rendement utile de l'appareil réfrigérant expérimenté.

D'une autre part, la chaleur acquise par l'eau 1000 Q (T-t) était celle qui était réellement passée à travers les parois du serpen-

tin, en vertu de l'excès de la température moyenne $T'_1 = \frac{T' + t'}{2}$ de l'air sur la température moyenne $T_1 = \frac{T + t}{2}$ de l'eau qui avait circulé, et en nommant $S = 10^{mq},44$ la surface totale du serpentin, K un coefficient constant, représentant, d'après la formule de Newton, la quantité de chaleur qui peut passer par mètre carré de surface et par degré de différence des températures de ses parois, on devait avoir la relation approximativement exacte

$$1000\,Q\,(T - t) = KS\,(T'_1 - T_1),$$

d'où l'on pouvait tirer pour chaque expérience

$$K = \frac{1000\,Q\,(T - t)}{S\,(T'_1 - T_1)}.$$

En introduisant dans les formules précédentes les données des expériences, nous avons formé le tableau suivant :

Résultats *des expériences faites au Conservatoire des arts et métiers en mai et juillet 1865, sur le refroidissement de l'air par son contact avec des surfaces métalliques mouillées de l'autre côté par un courant d'eau fraîche.*

DATES. — 1865.	Volume d'eau écoulé en 1 heure. Q.	Vitesse de l'eau en 1" dans le serpentin.	Températures de l'eau : à l'entrée t.	Températures de l'eau : à la sortie T.	Différences T — t.	Chaleur acquise par l'eau.	Volume d'air écoulé par heure.	Vitesse moyenne de passage de l'air dans la cheminée v'.	Températures de l'air : à l'entrée T'.	Températures de l'air : à la sortie t'.	Différences T' — t'.	Densité moyenne de l'air.	Chaleur perdue par l'air.	Rendement ou effet frigorifique R.	Températures moyennes : de l'air T'.	Températures moyennes : de l'eau T.	Valeur du coefficient de transmission de la chaleur K.	Poids de glace employé par heure pour refroidir l'eau.
	mc.	m.	0	0	0	cal.	mc.	m.	0	0	0	kil.	cal.	0	0	0	0	kil.
9 mai. .	0.349	0.137	4.70	7.43	2.73	882.77	203.60	0.44	19.68	13.00	6.68	1.209	488.90	0.554	16.44	6.06	8.14	200
12 mai. .	0.320	0.125	2.90	5.90	3.00	960.00	236.70	0.51	16.87	10.95	5.92	1.240	410.90	0.428	13.91	4.40	9.66	185
19 mai. .	0.152	0.059	1.68	7.22	5.54	842.00	193.44	0.41	18.24	11.06	7.18	1.240	407.76	0.485	14.65	4.45	7.90	175
8 juillet.	0.080	0.031	3.20	15.00	11.80	944.00	206.16	0.44	22.60	16.50	6.10	1.210	360.78	0.382	19.55	9.10	8.65	190
			Moyennes.......			907.19	208.47				6.47						8.59	
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.

L'examen de ce tableau conduit à plusieurs conséquences utiles pour la solution de la question qui nous occupe.

En comparant d'abord les élévations de température T—*t* éprouvées par l'eau aux vitesses avec lesquelles le liquide circulait dans le serpentin, on reconnaît que les premières sont en raison inverse des autres, ou que leur produit est à peu près constant; c'est ce que l'on voit par les chiffres suivants :

DATES.	VITESSE en 1′, en 1″.	TEMPÉRATURE DE L'AIR à l'entrée *t*.	TEMPÉRATURE DE L'AIR à la sortie T.	DIFFÉRENCE T — *t*.	VALEUR du produit (T — *t*.)
	m.	°	°	°	
9 mai...	0.137	4.70	7.43	2.73	0.374
12 mai...	0.125	2.90	5.90	3.00	0.375
19 mai...	0.059	1.68	7.22	5.54	0.327
8 juillet.	0.031	3.20	15.00	11.80	0.366
				Moyenne........	0.360

Il suit de là qu'il y a avantage à faire circuler l'eau à une très-faible vitesse, puisque avec une quantité de liquide moindre on peut obtenir l'absorption d'une même quantité de chaleur; c'est d'ailleurs ce que montre aussi la septième colonne du tableau, où l'on voit que des volumes variables de 0^{mc},349 à 0^{mc},080 en une heure, mais circulant de moins en moins vite, ont absorbé à très-peu près la même quantité de chaleur.

Si l'on compare les valeurs du rapport que nous avons nommé l'effet frigorifique pour les expériences où les vitesses de passage de l'air dans la cheminée ont été sensiblement les mêmes, comme les 9 mai, 12 mai et 8 juillet; on voit que ce rapport paraît diminuer à mesure que la différence des températures de l'eau augmente.

Il semblerait donc que les parois de la cheminée se refroidissent aussi aux dépens de l'eau.

Il est, en effet, remarquable qu'à ces vitesses égales les quantités de chaleur perdues par l'air aillent en diminuant, à mesure que l'eau qui circule se refroidit d'un plus grand nombre de degrés.

Il y a donc, sous ce rapport, plus d'avantage à employer une grande quantité d'eau qu'à chercher à abaisser, par la fusion de

la glace, sa température initiale; et cela montre que l'on pourrait atteindre le résultat cherché en se servant, pour la circulation, d'eau prise dans des puits à 15 degrés, et en proportionnant les appareils de manière que sa température ne s'élevât que de 3 à 4 degrés : mais l'on va voir que, même en supposant qu'on puisse facilement et à peu de frais se procurer l'eau de circulation nécessaire à une température de 15 degrés, l'emploi de ce procédé conduirait à des dispositions peu acceptables dans la plupart des cas.

En effet, la formule $K = \frac{1000\,Q\,(T-t)}{S\,(T_1'-T_1)}$, qui donne la valeur du coefficient constant K de la formule de Newton ou la quantité de chaleur qui, par mètre carré de surface et par degré de différence entre les températures intérieure et extérieure peut traverser la paroi du serpentin, conduit aux nombres indiqués dans la 18e colonne du tableau précédent, dont la valeur moyenne est $K = 8{,}59$.

D'après cela, la formule pratique à employer pour calculer la surface d'un appareil, à l'aide duquel on devrait faire absorber par l'air une quantité de chaleur donnée C, en augmentant seulement de $T-t$ la température de cette eau, serait :

$$S = \frac{C}{8{,}59 \times (T-t)}.$$

Si nous cherchons à appliquer cette formule à la salle des séances de l'Institut, qui contient au plus 300 personnes, à chacune desquelles il convient, en été, d'allouer au moins 25^{mc} d'air par heure, ou, en tout, $7{,}500^{mc}$; et, si nous nous proposons de ramener à la température de 20° cet air supposé, pris à 25°, il faudra lui enlever une quantité de chaleur exprimée par la formule $7500^{mc} \times 1{,}23 \times (25° - 20°) \times 0{,}237 = 9738^{cal}{,}62$; et comme, en supposant que la température de l'eau de puits prise à 15 degrés s'élève de 3 à 4 degrés, les expériences (colonne 15e) montrent que l'effet frigorifique produit sur l'air n'est alors que les 0,45 environ de la quantité de chaleur absorbée par l'eau, il s'ensuit que celle-ci devrait être au moins égale à

$$\frac{9738^{cal}{,}62}{0{,}45} = 21\,641 \text{ calories.}$$

L'on aurait :

$$T_1' = \frac{25^\circ + 20^\circ}{2} = 22^\circ,50 \quad T_1' - T_1 = 5^\circ,$$

et par suite :

$$S = \frac{21\ 641^{cal}}{8,59 \times 5} = 503^{mq},86.$$

Il faudrait donc donner à la surface refroidissante mouillée par l'eau une surface de 504^{mq} environ, ce qui est tout à fait impraticable.

En résumé, quoique les expériences précédentes montrent que, si au point de vue rationnel, le dispositif que nous avons essayé, et qui est analogue à celui qui a été établi à l'Institut, est susceptible de produire un refroidissement sensible de l'air, il ne peut avoir pour une salle de séances, comme celle de l'Académie, d'effet réellement efficace, qu'à la condition de donner aux surfaces de refroidissement des dimensions inacceptables.

Si, au lieu de supposer l'eau prise dans des puits à la température de 15°, on voulait abaisser sa température initiale à l'aide de la fusion de la glace, comme nous l'avons fait dans nos expériences, il est facile de voir, par les chiffres consignés dans la 19e colonne du tableau précédent, que l'on serait conduit à des consommations excessives de glace.

On reconnaît, en effet, que, pour abaisser d'un peu plus de 6 degrés un volume d'air d'environ 200^{mc} par heure, il a fallu consommer au minimum 175 kilogrammes de glace par heure, ce qui, pour 7500^{mc} d'air par heure, correspondrait à

$$\frac{7500}{200} \times 175^{kil} = 6562^{kil},5 \text{ par heure.}$$

A tous les points de vue, le procédé de refroidissement de l'air par son contact avec des surfaces métalliques mouillées de l'autre côté par un courant d'eau plus ou moins fraîche, si fondé qu'il soit en principe, doit donc être regardé comme inacceptable en pratique, dès qu'il s'agit de réunions un peu nombreuses.

Rafraîchissement des combles par la circulation de l'air.

Après avoir essayé les deux procédés artificiels dont nous venons de faire connaître les résultats, nous avons fini, comme il arrive souvent à l'homme, par où nous aurions dû commencer, c'est-à-dire par recourir aux moyens naturels.

Si l'observation montre que dans les greniers ou dans les combles clos l'action des rayons solaires, en échauffant la couverture et les vitrages, y détermine une élévation de température très-notable, et qui persiste pendant une partie de la nuit de manière à en rendre le séjour très-pénible, on sait aussi que cet effet est beaucoup moins sensible quand ces locaux sont percés d'ouvertures nombreuses et suffisantes pour que l'air y circule en toute liberté. Il arrive alors que l'air qui les parcourt enlève aux parois une partie de la chaleur qu'elles ont absorbée, et que son renouvellement limite d'une manière notable l'élévation de la température intérieure.

Pour nous rendre compte de l'avantage que pouvait offrir la circulation continue de l'air dans des combles ordinaires, nous avons fait des observations dans celui du grand amphithéâtre du Conservatoire des arts et métiers, où, par l'ouverture ou la fermeture des registres de prise d'air extérieur, et celle de la porte de communication de la galerie de ventilation avec la cheminée d'évacuation, nous pouvions, à volonté, permettre ou interrompre en grande partie la circulation de l'air.

Nos observations ont été faites pendant des journées plus ou moins chaudes, où le soleil dardait ses rayons sur la toiture en zinc qui recouvre le bâtiment sur lequel, d'ailleurs, il n'y a pas, dans cette partie, de vitrage qui aurait encore accru l'effet des rayons solaires.

Les résultats de nos observations sont réunis dans le tableau suivant :

Observation des températures dans le comble du grand amphithéâtre du Conservatoire impérial des arts et métiers (1865).

DATES.	PORTES ET REGISTRES FERMÉS. TEMPÉRATURES			PORTES ET REGISTRES OUVERTS. TEMPÉRATURES			NOTES.
	extérieure.	intérieure.	Différence.	extérieure.	intérieure.	Différence.	
	0	0	0	0	0	0	
10 mai...	21.8	25.8	+4.00	»	»	»	
13 —..	»	»	»	20.00	20.75	+0.75	
17 —..	»	»	»	20.00	21.40	+1.40	
18 —..	»	»	»	20.00	20.80	+0.80	
22 —..	»	»	»	24.25	25.60	+1.35	
9 juin..	23.6	27.1	+3.50	»	»	»	
10 —..	26.5	29.5	+3.00	»	»	»	
22 —..	22.0	27.3	+5.30	»	»	»	
23 —..	23.2	28.6*	+5.40	27.75	27.75	»	* A 9 heures du soir dans la petite chambre de mélange.
24 —..	»	»	»	24.00	24.20	+0.20	
5 juillet.	»	»	»	28.75	28.00	+0.75	
6 —..	»	»	»	32.00	33.00	+1.00	
Différences moyennes...			+4.24			+0.89	

Il résulte de ce tableau que, quand les portes et les registres qui permettent la circulation de l'air de l'extérieur à l'intérieur *et vice versâ* sont fermés, la température dans le comble de cet amphithéâtre dépasse en moyenne de 4°,24 celle de l'air extérieur, tandis que, quand la circulation de l'air est rendue libre par l'ouverture de toutes les issues, l'excès de la température intérieure sur celle de l'extérieur est réduit à 0°,89.

Il convient d'ailleurs de faire observer que ce comble n'a que deux grandes ouvertures et une petite, et que, pour des gares de chemins de fer, on pourrait en ménager un plus grand nombre sur toute leur étendue.

Ces expériences rendent donc évident l'avantage que l'on peut trouver à disposer dans les combles des ouvertures qui, en permettant une libre et abondante circulation de l'air, atténuent dans une proportion considérable les effets de l'échauffement produit par la radiation solaire.

L'application de cette conséquence est facile, et, pourvu que les orifices d'admission et d'évacuation soient assez grands et assez multipliés pour que le renouvellement de l'air se fasse,

sans qu'il se produise des courants trop rapides, on pourra aisément éviter les inconvénients qui résultent trop souvent de l'absence de proportions convenables. En général, on peut dire que les orifices d'admission de l'air ne seront jamais trop nombreux ni trop grands : quant à ceux d'évacuation, ils peuvent, sans inconvénient, être plus petits, attendu que le courant d'air qu'ils déterminent s'échappe au dehors.

Dans les habitations privées, il n'existe ordinairement, pour les pièces situées sous les combles, qu'un trop petit nombre d'ouvertures des formes que l'on nomme *châssis à tabatière* ou *fenêtres en mansardes*. Outre que ces baies sont trop petites, elles ne suffisent pas pour établir un renouvellement continu et régulier de l'air : il faudrait y ajouter un orifice d'évacuation sous forme de cheminée, ouvrant aux points culminants du plafond et débouchant au-dessus du toit. En admettant que la différence de température produite par l'action solaire sur un tuyau en tôle ou en zinc puisse déterminer seulement une vitesse de $0^m,40$ à $0^m,50$ en 1″, ce qui est un minimum, on devra calculer le nombre et le diamètre de ces conduits d'évacuation, de manière que le volume d'air contenu dans le local soit renouvelé au moins deux ou trois fois par heure pendant le temps où le soleil donne sur le toit. Par de semblables dispositions, l'on atténuera considérablement l'échauffement si incommode des combles habités ou destinés à des ateliers. Il est, du reste, bon de rappeler que si ces locaux sont occupés le soir et éclairés au gaz, on devra, comme je l'ai dit ailleurs, au moyen de tuyaux placés au-dessus des becs, diriger tous les produits de la combustion vers les cheminées d'évacuation.

Enfin, comme ce mode d'assainissement n'est utile que dans la saison des chaleurs, il est évident que les cheminées ou tuyaux d'évacuation devront être munis de moyens de fermeture pour la saison d'hiver, afin d'éviter des rentrées d'air froid produites par le renversement de la ventilation.

Quant aux gares des chemins de fer, aux salles de réunion ou d'exposition, recouvertes partie en zinc et partie ou parfois totalement en verre, les ouvertures que l'on ménage ordinairement vers leur sommet sont, en général, insuffisantes pour y assurer un renouvellement de l'air susceptible d'empêcher la température de s'y élever démesurément : on y restreint toujours beau-

coup trop le nombre et la grandeur des orifices d'admission, et il en résulte d'une part un renouvellement beaucoup trop lent de l'air, et de l'autre des courants d'air intolérables et très-dangereux aux ouvertures d'accès.

La plupart du temps, les extrémités de ces gares sont fermées complétement, du côté du départ, par un pignon en maçonnerie formant façade, que l'on a plus ou moins heureusement ornée, sans se préoccuper des conditions de salubrité, et à l'autre extrémité, du côté de l'arrivée, elles le sont par un immense vitrage, plan, vertical, descendant jusqu'à 5 ou 6 mètres du sol, bientôt sali par la poussière et la fumée, et de l'aspect le plus disgracieux; sur les longs côtés sont disposés des bureaux et des salles de départ ou d'arrivée qui interceptent l'accès de l'air.

Il en résulte que l'air n'est admis dans ces immenses gares que près du sol ou à une faible hauteur au-dessus, par des orifices insuffisants, et que ceux qui sont ménagés vers le faîte pour l'évacuation, ne pouvant exercer un appel capable de renouveler assez rapidement l'air intérieur, la température s'y élève graduellement : les gares de chemins de fer, où le thermomètre s'est élevé, en juillet, à 42° et jusqu'à 48°, offrent des exemples remarquables de ces effets.

Les expériences précédentes indiquent déjà un moyen simple et non dispendieux d'atténuer ces effets fâcheux : il suffirait d'ouvrir, aux deux extrémités des gares, à partir d'une hauteur de 6 à 8 mètres au-dessus du sol, et, s'il se peut, sur la longueur des faces latérales, de nombreuses et larges ouvertures qui permettraient l'admission de l'air extérieur.

Sur les longs pans des toitures, de nombreux châssis à tabatière devraient être ouverts dans les jours chauds de l'été, et les lanternes disposées vers le faîte seraient surélevées de 2 à 3 mètres au moins, en même temps qu'agrandies; elles ne seraient ouvertes qu'à leur sommet, de manière à former une sorte de cheminée d'appel qui régnerait sur toute la longueur de la gare.

Par ces dispositions, l'on parviendrait à établir dans toute la partie supérieure des gares un renouvellement continu de l'air, par suite duquel la température intérieure cesserait de s'élever de proche en proche, de haut en bas, et d'atteindre le degré intolérable que l'on observe aujourd'hui.

Rien ne s'opposant à ce qu'en hiver on pût fermer autant d'orifices d'admission et d'évacuation qu'il serait nécessaire, on serait toujours en mesure de s'opposer dans cette saison à l'introduction de l'air froid par ces orifices.

Les dispositions simples, peu coûteuses, que nous venons d'indiquer en termes généraux constitueraient déjà une amélioration notable pour beaucoup de cas; mais il est un autre moyen naturel qui peut être employé concurremment avec les précédents, et qui, sans dépense journalière importante, assurerait encore mieux la modération de la température des combles de bâtiments et des gares de chemins de fer.

Rafraîchissement des toitures par l'arrosage.

La cause évidente de la chaleur excessive qui se développe dans les parties supérieures des édifices placées sous les toitures ou sous des vitrages étant l'élévation de la température de la surface extérieure des toits et de proche en proche celle de toutes leurs parois, il est également clair que si, à l'aide d'un moyen simple, facilement applicable d'une manière certaine, on pouvait s'opposer à l'échauffement de la paroi extérieure, on en ferait disparaître les conséquences.

Or, ce moyen simple nous est fourni par la nature elle-même, qui, à l'aide de la moindre pluie, rafraîchit, refroidit ces surfaces, et qui nous montre que, pour peu que cette pluie se prolonge, l'air, restât-il même chaud, la température intérieure des combles se rapproche promptement de celle de l'extérieur.

Arrosage des toitures pendant la saison des chaleurs.

Cette observation nous conduisait naturellement à observer les effets d'un arrosage continu des couvertures sur la température intérieure des combles, et c'est ce qui nous a engagé à faire les expériences dont nous allons indiquer les résultats. Ils montreront, nous l'espérons, que, pour un grand nombre de cas, le procédé n'aurait rien d'impraticable, et ne serait même pas très-dispendieux, eu égard à la nature et à la durée des réunions.

Le grand amphithéâtre du Conservatoire des arts et métiers

est, comme nous l'avons dit, couvert en zinc, et le comble, où pour la ventilation l'on emprunte l'air nouveau à introduire, est partagé en deux chambres de mélange d'air, dont l'une est beaucoup plus grande que l'autre, et qui n'ont pas de communication directe permanente.

Sur le faîte de la plus grande de ces deux chambres, nous avons fait établir un tuyau en plomb de $0^{m},025$ de diamètre intérieur, qui a été percé d'un nombre de trous successivement accru à mesure que le besoin s'en est fait sentir. Un petit réservoir, de $0^{mc},30$ seulement de capacité, recevait de l'eau qui, élevée jusqu'à une certaine hauteur par les conduites de la ville, y était ensuite refoulée à l'aide d'une pompe manœuvrée à bras. Il nous sera facile plus tard d'obtenir l'arrivée directe de l'eau sur les combles de nos amphithéâtres, à l'aide des réservoirs existants; mais la nouvelle distribution d'eau que la Ville doit mettre en activité d'ici à quelques mois rendra cet arrosage encore plus commode. Il convient d'ailleurs de dire qu'en ce qui concerne le palais de l'Institut, il faudrait aujourd'hui, pour en arroser abondamment les toits, élever l'eau à l'aide de pompes, attendu qu'elle ne monte au plus qu'à 10 mètres au-dessus d'un repère existant au socle d'un des lions de la fontaine.

On conçoit aisément que la présence d'une mince couche d'eau mouillant incessamment les toits, et dont une partie se vaporise sous l'action des rayons solaires, doit suffire pour empêcher leur surface de s'échauffer, et que, dès lors, l'effet de ces rayons que l'on veut combattre peut se trouver presque entièrement annulé. Il était cependant nécessaire de le constater par des expériences directes, et de déterminer la quantité d'eau qui pouvait être indispensable, afin de s'assurer qu'elle ne dépassait pas des proportions acceptables.

Tel a été le but des expériences dont nous allons faire connaître les résultats; mais il ne sera pas inutile de dire à l'avance qu'étant obligés d'emprunter l'eau aux conduites de la Ville, nous ne pouvions l'obtenir à la hauteur nécessaire que vers dix ou onze heures du matin, et que déjà, à cette heure, le soleil avait pu darder ses rayons sur le toit et en échauffer les parois, de sorte que, sans cette circonstance, les résultats auraient pu être plus favorables que ceux que nous avons obtenus.

Afin d'apprécier l'influence spéciale de l'humectation conti-

nue du toit, nous avons eu soin de tenir constamment fermés les portes et les registres des combles, et nous rappellerons que, d'après les observations précédentes, l'action solaire déterminait dans ces circonstances, à l'intérieur du comble, un excédant de plus de 4 degrés sur la température extérieure.

Les résultats des observations sont consignés dans le tableau suivant :

Observation des températures dans le comble du grand amphithéâtre du Conservatoire des arts et métiers pendant l'arrosage du toit, les portes et les registres de ventilation étant fermés (1865).

DATES.	HEURES auxquelles l'arrosage a commencé.	HEURES des observations.	TEMPÉRATURES		DIFFÉRENCES.
			extérieure.	intérieure.	
	h. m.	h. m.	°	°	°
30 mai...	9 »	3 »	25.50	24.75	—0.25
		1 15	23.40	22.90	—0.50
6 juin..	9 15	3 00	23.90	23.75	—0.15
		6 45	24.10	23.20	—0.90
7 juin..	12 »	3 »	24.80	24.50	—0.30
21 juin..	10 »	1 15	27.00	25.75	—1.25
		2 »	27.75	26.00	—1.75
5 juillet.	9 45	3 »	28.75	28.00	—0.75
		12 »	20.50	20.00	—0.50
2 août..	9 »	1 30	21.00	20.25	—0.75
		3 »	21.25	20.50	—0.75
			Différence moyenne...		—0.71

Conséquences des résultats précédents. — Ces expériences montrent que, tandis que sous l'action directe des rayons solaires, l'intérieur du comble (dont les portes et les registres étaient fermés) avait atteint dans les expériences précédentes des températures qui se sont élevées en moyenne à 4°,24 au-dessus de la température extérieure, l'écoulement continu d'une légère couche d'eau sur la couverture en zinc, commencé seulement de neuf heures à dix heures, a suffi pour qu'en moins de trois heures à cinq heures, la température intérieure de ce comble fût ramenée et maintenue en moyenne à 0°,71 au-dessous de celle de l'air extérieur.

Il ne saurait être douteux que, s'il nous eût été possible de faire fonctionner cet arrosage avec continuité, depuis le lever du soleil et pendant toute la journée, nous aurions obtenu un résultat plus favorable encore; mais celui qui est constaté par ces expériences suffit pour montrer tout le parti que l'on peut tirer d'un semblable moyen pour neutraliser l'action des rayons solaires sur les toitures, et pour empêcher la température des combles d'atteindre les limites qui rendent le séjour de ces parties des édifices, ainsi que celui des gares de chemins de fer, si pénibles pour les personnes qui sont obligées de les habiter ou d'y travailler.

L'emploi de ce procédé permet aussi, en le combinant avec quelques-uns des précédents, d'utiliser les chambres de mélange d'air établies dans des combles pour la ventilation d'été aussi bien que pour celle d'hiver, ce qui constitue la solution du problème qui nous avait été posé par l'Académie.

Dépense d'eau. — Le volume d'eau à faire écouler pour obtenir les résultats constatés dans les expériences précédentes est très-faible et ne saurait constituer ni une dépense ni une difficulté. Il a été régulièrement de $0^{mc},030$ en 1' pour une surface de toit de 138^{mq}. Le tuyau en plomb placé le long des faîtes de la toiture avait $0^{m},026$ de diamètre intérieur; sa section était ainsi de $0^{mq},00053$, et la vitesse de l'eau qui le parcourait était en moyenne, à son origine, égale à 1 mètre en 1".

La toiture de la salle des séances de l'Institut ayant environ 220^{mq}, une dépense d'eau de $0^{mc},050$ en 1', ou de $3^{mc},00$ par heure, suffirait; et si, pour rendre cet arrosage très-efficace, on voulait le faire durer 10 heures (depuis sept heures du matin jusqu'à cinq heures du soir), on devrait débiter $30^{mc},00$, que l'on pourrait à l'avance recueillir dans un réservoir placé au-dessus du toit, si la pression des distributions de la Ville ne suffisait pas pour assurer l'écoulement continu de ce volume d'eau.

On remarquera que le volume de $0^{mc},030$ dépensé en 1' revient à $1^{mc},80$ par heure, et qu'il est à peu près le même que celui qui avait été consommé dans les expériences où l'on avait tenté de rafraîchir l'air par son passage au travers d'un jet d'eau à l'état pulvérulent. Si donc on employait les deux moyens con-

curremment, l'on pourrait très-probablement faire arriver dans les locaux ventilés de l'air à une température inférieure de près de 2° à 3° à celle de l'air extérieur.

Conclusions.

En résumé, l'étude des quatre moyens que nous avons essayés pour modérer ou abaisser la température de l'air destiné à la ventilation, ou celle des combles, des gares, des salles de réunion, d'exposition, et des ateliers placés sous les toitures, conduit aux conclusions suivantes.

Le premier, par lequel on rafraîchit l'air extérieur aspiré par la ventilation, en le faisant passer avant son introduction à travers un jet d'eau divisé à l'état pulvérulent, ne produit qu'un abaissement de température de deux degrés environ; il exige un volume d'eau considérable et l'emploi d'une puissance motrice que l'on a rarement à sa disposition, et dont l'effet serait disproportionné à la dépense, s'il fallait l'établir exprès pour cet usage; il ne peut donc être regardé que comme un moyen exceptionnel.

Le second, qui consiste à faire passer l'air contre les parois d'enveloppes ou de réservoirs métalliques, dans l'intérieur desquels circule de l'eau plus ou moins froide, est efficace; mais il exige l'emploi de surfaces d'un développement très-considérable par rapport au volume d'air rafraîchi, même quand l'eau employée a été préalablement refroidie à l'aide d'eau mélangée de glace dont le poids en kilogrammes est à peu près égal au nombre de mètres cubes d'air; il doit donc être considéré comme généralement inacceptable.

Le troisième et le quatrième, plus directement empruntés aux phénomènes ordinaires de la nature, paraissent seuls applicables dans tous les cas, et d'un effet suffisant pour les besoins ordinaires.

L'un, qui consiste à assurer par l'ouverture d'orifices nombreux et largement proportionnés l'admission et l'évacuation de l'air, n'exige que des dispositions faciles à réaliser partout, et peu dispendieuses.

Les proportions des orifices d'évacuation devront être calculées de manière que l'air soit renouvelé au moins deux fois par

heure, et l'on ne devra compter en général que sur une vitesse d'écoulement de $0^m,40$ à $0^m,50$ en 1″. Les cheminées d'évacuation devront être en tôle, afin que l'action du soleil, en les échauffant, active leur tirage; on leur donnera $3^m,00$ et plus de hauteur au-dessus du toit.

Les orifices d'admission de l'air seront aussi nombreux que possible, et ouverts seulement, s'il se peut, aux côtés qui ne reçoivent pas l'action du soleil. On devra déterminer leurs dimensions par la condition que l'air ne les traverse pas avec une vitesse de plus de $0^m,30$ à $0^m,40$ en 1″, et que le volume d'air introduit suffise, comme celui de l'air évacué, à un renouvellement total répété au moins deux fois par heure.

Les fenêtres exposées à l'action des rayons solaires seront munies de persiennes fermées, ou masquées par des stores extérieurs, à moins qu'elles ne soient en forme de châssis à tabatière, auquel cas elles seront soumises à l'arrosage qui constitue le quatrième procédé.

Pour les ateliers et autres locaux éclairés au gaz, on devra toujours assurer l'évacuation des produits de la combustion soit directement à l'extérieur, soit même, quand faire se pourra, dans les cheminées de ventilation, dont ils activeront la marche. Il est d'ailleurs évident que ces cheminées devront être pourvues de registres pour en modérer l'action, selon le temps et les saisons.

Le quatrième procédé, qui bientôt, lorsque la nouvelle distribution d'eau de la ville de Paris sera organisée, pourra être appliqué à peu près directement à la plupart des édifices et des habitations, n'est que la simple imitation des effets naturels de la pluie; mais il est très-efficace. Il n'exige qu'environ $1^{mc},320$ d'eau par heure pour mouiller efficacement 100^{mq} de toiture et les mettre à l'abri de l'échauffement produit par la radiation solaire; appliqué dès le matin et continué tant que le soleil agit, non-seulement il s'oppose à l'échauffement des toitures, mais, pour peu que l'eau soit à une température inférieure à celle de l'atmosphère, il peut maintenir les parois intérieures à une température notablement plus basse que cette dernière, et rafraîchir l'air qui pénètre dans les combles.

Des deux moyens que nous venons d'indiquer pour diminuer l'élévation parfois excessive de la température dans les loge-

ments ou ateliers situés sous les combles, dans les gares de chemins de fer, dans les cirques et autres lieux de grandes réunions, sont : l'un, celui de l'aération continue, est toujours, et le dernier, celui de l'arrosage, presque toujours applicable dans les grandes villes.

Leur emploi, qui permettrait d'assurer en toute saison la ventilation intérieure des lieux de réunion, nous paraît constituer, pour la salubrité publique, une amélioration facile à réaliser, et assez importante pour mériter l'attention de l'administration.

IODURE DE POTASSIUM

RÉACTIONS COMPARÉES ET ESSAIS

DES IODURES, BROMURES ET CHLORURES ALCALINS,

PAR M. A. PAYEN.

La médecine contemporaine fait souvent usage, avec succès, de l'iodure de potassium.

Dans ces derniers temps, l'attention de l'Académie fut appelée sur l'emploi de ce procédé pour combattre les affections saturnines, application qui intéresse un grand nombre de travailleurs, notamment les cérusiers et les peintres.

Les applications du même iodure à l'ozonométrie ont, de leur côté, pour but principal de fournir à l'hygiène des notions utiles[1].

En écoutant plusieurs importantes communications sur ce sujet, il m'a paru utile d'examiner l'iodure de potassium des diverses origines, dont disposent nos savants praticiens, afin de

1. Depuis la lecture de ce mémoire à l'Académie des sciences, des doutes se sont élevés de nouveau sur le degré de certitude que peuvent offrir les déterminations de l'ozone *atmosphérique* basées uniquement sur les effets d'oxydation de l'iodure de potassium. Une commission a été chargée d'élucider cette question (séance du 27 novembre 1865).

Dans la même séance, M. Soret a fait connaître un moyen d'absorption de l'ozone par l'essence de térébenthine, en tenant compte des relations volumétriques et s'accordant avec l'hypothèse de la densité de l'ozone qui serait égale à une fois et demie celle de l'oxygène ordinaire, et d'après laquelle, si la molécule de ce dernier corps est considérée comme formée de deux atomes OO, la molécule d'ozone serait représentée par OO,O ; ce qui constituerait un état allotropique de l'oxygène.

savoir si ces produits ont une constance de composition telle, qu'elle puisse donner le maximum de valeur aux observations médicales.

A cet égard, la base fondamentale sur laquelle repose une médecine progressive, qui de nos jours prend un caractère de plus en plus scientifique, m'a semblé nettement caractérisée dans l'écrit de M. Chevreul sur l'histoire de la médecine, publié à l'occasion d'une lecture de M. Cl. Bernard, relative aux propriétés organoleptiques spéciales des six alcaloïdes de l'opium.

Après des essais nombreux entrepris sur les produits considérés comme purs, parmi ceux qui sont livrés habituellement, sous le nom d'iodure de potassium, à l'industrie, aux laboratoires et aux usages médicaux, je suis parvenu, soit à l'aide des réactions usitées en pareil cas, soit au moyen de réactions nouvelles, à reconnaître que tous les produits chimiques ou pharmaceutiques de cette espèce que j'ai pu me procurer offrent une alcalinité notable due à des proportions variables entre 2 1/2 et 6 centièmes de carbonate de potasse[1], que presque tous aussi contiennent de l'iode en excès.

A l'occasion de ces recherches expérimentales, j'ai observé en outre certains caractères des iodure et bromure de potassium qui ne se sont pas retrouvés dans les chlorures alcalins.

Les solutions saturées à la température de 22 à 24 degrés, soit d'iodure, soit de bromure de potassium, neutres ou légèrement alcalines ou acides, mises en contact avec la fécule amylacée à 4 équivalents d'eau, agissent sur elle à froid de manière à faire prendre à chacun de ses grains un volume 25 à 30 fois plus grand, si le volume total du liquide le permet. Rien de semblable n'a lieu avec le chlorure de potassium ni avec le chlorure de sodium. Je me propose de décrire plus particulièrement aujourd'hui les phénomènes qui se passent à l'égard de l'iodure de potassium, soit à l'état pur, soit tel qu'il se trouve dans le commerce des produits chimiques et de la pharmacie.

On peut facilement épurer l'iodure commercial en saturant la potasse par l'acide iodhydrique récemment préparé, puis en

1. Ces proportions ont été déterminées par la saturation avec la liqueur alcalimétrique normale d'acide sulfurique.

éliminant par l'acide sulfhydrique l'iode qui s'y trouve très-généralement en excès.

La solution (exempte de toute trace d'acide en excès ou saturée, s'il y a lieu, par la potasse pure) évaporée donne, par le refroidissement, des cristaux qui, égouttés, lavés et séchés, ne renferment plus de substances étrangères[1].

Le composé cristallin ainsi préparé, pur et parfaitement neutre, agit sur la fécule avec une énergie telle, que 1 gramme de celle-ci délayé à froid dans 25 centimètres cubes d'une solution aqueuse saturée d'iodure à la température de 22 degrés se prend bientôt en une masse consistante, translucide, incolore.

La même réaction observée sous le microscope, en augmentant la proportion du liquide, montre chacun des granules féculents se gonflant au point d'occuper un volume 30 fois plus grand : toutes les couches internes concentriques et d'inégale cohésion sont dissoutes; il ne reste, outre des traces de substances étrangères, que la pellicule externe tellement amincie par suite de son extension considérable que, pour la discerner sous le microscope, il faut amoindrir beaucoup la lumière qui la traverse. Si l'on étend d'eau (10 fois son volume) la masse translucide de la fécule gonflée (par 25 centimètres cubes de solution pour 1 gramme), le liquide versé sur un filtre ne le traverse qu'avec une extrême lenteur, et cependant la solution limpide n'est nullement visqueuse, car elle peut passer rapidement au travers d'un deuxième filtre. Cette solution contient presque la totalité de la substance amylacée, dont une solution d'iode accuse les fortes proportions par l'intensité de la coloration violette immédiatement produite.

C'est qu'effectivement il ne reste sur le filtre lavé que les pellicules énormément distendues qui obstruent ses pores, quoique difficilement pondérables. Elles sont d'ailleurs colorables en violet intense par l'iode. Les solutions d'iodure de potassium déterminent un gonflement de la fécule moindre et moins prompt à mesure qu'elles sont plus étendues d'eau : un volume de la solution saturée à la température de 22 à 24 degrés, étendu

1. Du moins n'ai-je trouvé dans l'iodure de potassium, chez les principaux fabricants de produits chimiques, ni chlorures ni iodates qui eussent exigé une épuration spéciale.

de 3 volumes d'eau, laisse la plupart des grains intacts ou légèrement gonflés, cette solution s'étant introduite en faible quantité par le *hile;* quelques grains seulement se montrent fortement gonflés. A 3 1/2 volumes d'eau et au delà, pour 1 volume de la solution saturée, le liquide n'exerce plus à froid d'action sensible sur les grains de fécule.

L'iodure de potassium pur en solution est demeuré incolore en vase clos, non-seulement à la lumière diffuse durant plus de quinze jours, mais encore après avoir été exposé pendant deux heures aux rayons solaires. Il en a été de même de la fécule gonflée par 16 et jusqu'à 25 fois son volume de cette solution d'iodure épuré. Dans les mêmes circonstances, la solution d'iodure de potassium ioduré est colorée en jaune, et le magma translucide produit par elle sur la fécule se colore en violet. A l'abri de toute lumière, cet iodure de potassium alcalin, ioduré, ne manifeste en général aucune coloration jaune.

L'expérience suivante fut faite en vue de répéter, dans des conditions un peu différentes, les essais précédents et de vérifier une théorie récemment proposée de la décoloration de l'iodure d'amidon par la chaleur et du retour de cette coloration par le refroidissement. 8 centimètres cubes de solution d'iodure de potassium pur mélangés avec 5 décigrammes de fécule, dans un flacon rempli au quart de sa capacité et clos, ont formé un magma consistant, translucide, qui s'est conservé incolore à la lumière diffuse pendant huit jours. On a ajouté 32 centimètres cubes d'eau, puis agité fortement jusqu'à division complète. Le liquide, ayant alors été étendu de 12 fois son volume d'eau, contenait 1/1040e de matière organique. Une partie de la solution, obtenue limpide par la filtration lente, prit avec l'iode en excès une coloration violette intense; soumise alors à une vive ébullition qui fit sortir du tube un tiers du liquide décoloré par cette température, le tube fut instantanément fermé sans y laisser rentrer l'air; plongeant alors l'extrémité inférieure du tube clos dans l'eau froide, on vit la coloration violette reparaître en ce point, puis se propager à mesure du refroidissement. Les mêmes phénomènes eurent lieu en chauffant et en refroidissant tour à tour le tube une deuxième fois; mais la teinte était sensiblement affaiblie, sans doute par la déperdition de l'iode partiellement transformé en acide iodhydrique. On voit qu'à deux reprises il a

pu rester dans le liquide décoloré, après l'ébullition, assez d'iode pour produire l'effet de teinture par le refroidissement, tandis qu'entre cette portion colorée et la superficie le liquide non encore assez refroidi restait incolore ou légèrement jaunâtre. Ainsi donc la disparition de la couleur violette par la chaleur est due à la dilatation des groupes de particules et leur contraction par le froid les fait teindre de nouveau.

Il y a donc lieu de rectifier à cet égard ce qui a été dit récemment, que la disparition de la couleur serait uniquement due au dégagement de l'iode et que le retour de la coloration devrait être attribué à la rentrée de l'iode momentanément porté à la superficie du liquide[1].

Toutes les réactions précitées ont également lieu lorsqu'on emploie pour ces expériences les produits livrés soit comme réactifs, soit comme médicaments; toutefois alors des différences notables peuvent caractériser ces produits plus ou moins impurs en général.

Si, par exemple, on opère sur l'iodure de potassium très-légèrement alcalin et contenant des traces d'iode en excès, la masse translucide des grains de fécule gonflés pourra demeurer incolore pendant une ou deux heures ou même une ou deux journées, puis elle se colorera en violet, plus vite à l'air qu'en vase clos, à la lumière que dans l'obscurité; la coloration commençant toujours à la superficie, ce phénomène m'a semblé pouvoir dépendre principalement de l'action de l'acide carbonique de l'air qui, transformant peu à peu le carbonate de potasse en sesqui puis en bicarbonate, laisserait l'iode en excès plus libre de réagir sur la fécule amylacée. D'ailleurs, on pouvait supposer que la lumière avait aussi exercé une influence sur l'espèce de dissociation entre l'iode en excès et l'iodure de potassium.

Trois séries d'expériences comparatives furent instituées en vue d'élucider ces questions : on fit passer, dans la solution saturée de l'iodure très-légèrement alcalin et iodaré qui ne colorait pas directement la fécule, un courant ménagé de gaz acide

1. Des phénomènes semblables se produisent lorsqu'on chauffe et que l'on refroidit de même lentement une solution filtrée ou non filtrée, contenant 1 à 2 millièmes de fécule et en opérant dans un tube ouvert ou clos.

carbonique pendant quatre heures : la solution prit graduellement une teinte jaunâtre signalant la présence de l'iode mis en liberté. En effet, cette solution produisit immédiatement alors par son contact avec la fécule, outre le gonflement des grains, une coloration violette. La même expérience, répétée sur l'iodure de potassium pur, ne manifesta ni la teinte jaune de la solution, ni la coloration immédiate de la fécule gonflée.

Un courant d'air atmosphérique produisit en cinq heures la coloration jaune de la solution saturée de l'iodure de potassium légèrement alcalin et ioduré, tandis que dans la même solution l'air, dépouillé d'acide carbonique, ne produisit pas cette coloration; dans le premier cas, on pouvait donc attribuer à l'acide carbonique l'effet observé.

Je me suis en outre proposé de constater l'influence que pourrait exercer, sur la séparation de l'iode, le concours des affinités de l'oxygène pour le potassium, de l'acide acétique pour la potasse, enfin de l'iode pour la substance féculente, en agissant soit sur l'iodure contenant un très-léger excès d'iode, soit même sur l'iodure épuré. Les expériences ont paru justifier l'hypothèse qui les avait fait entreprendre; elles ont donné un moyen simple, très-sensible, de distinguer à l'instant le composé pur de l'iodure de potassium faiblement ioduré. Dans ce dernier cas, en versant dans la solution d'iodure un très-minime excès d'acide acétique sur la saturation exacte, on observa une teinte jaunâtre, et toujours alors, en mélangeant avec la solution 4 ou 5 p. 100 de son poids de fécule amylacée, on vit apparaître dans toute la masse une coloration violette plus ou moins foncée.

En opérant de la même manière sur la solution saturée d'iodure de potassium pur, il n'y eut pas de coloration jaunâtre au moment où fut versé le minime excès d'acide acétique; puis, lorsqu'on ajouta la fécule, celle-ci, bientôt gonflée, produisit un magma translucide et incolore.

Dans le tube aussitôt bouché, dont les 0,3 seulement avaient été remplis, on aperçut, après quelques instants, d'abord sur les parois du tube où adhérait une couche mince du mélange, puis au niveau du liquide alors pris en masse, une coloration violette qui devint plus intense et se propagea peu à peu parallèlement à la superficie. Toute la portion située au-dessous de

cette couche supérieure (dont l'épaisseur manifestée par sa coloration violette s'accrut graduellement), conservait sa blancheur et sa translucidité primitives jusqu'au moment où, au bout d'un temps plus ou moins long, suivant son épaisseur, la coloration de la masse supérieure, pénétrant toujours plus avant, arrivait au fond du tube [1].

Dans le cours de mes recherches sur l'iodure de potassium des diverses origines, et sur l'iode épuré, j'ai obtenu plusieurs résultats nouveaux qu'il me semble utile de faire connaître.

J'indiquerai d'abord quelques autres caractères distinctifs entre l'iodure de potassium et les chlorures alcalins; je signalerai ensuite une propriété de cet iodure tendant, sous certaines conditions, à le rendre plus impur par la cristallisation à laquelle on a recours, cependant, en vue de l'épurer.

Ces faits seront succinctement exposés, toutefois avec les détails nécessaires pour que l'on puisse facilement répéter les expériences.

Dans 5 centimètres cubes d'une solution d'iodure de potassium saturée à la température de + 24 degrés, on a délayé 1 décigramme de fécule; les grains gonflés en quelques secondes formèrent une sorte de mucilage graduellement épaissi. Au bout de vingt-quatre heures, 35 centimètres cubes d'eau y furent ajoutés, et une heure après le mélange, représentant 40 centimètres cubes pour 1 décigramme ou 400 centimètres cubes de liquide pour 1 gramme de fécule, versé sur un filtre préalablement lavé et encore tout humide, laissa passer la plus grande partie de la solution en quatre heures, et presque la totalité en vingt-quatre heures.

L'addition à cette solution limpide de l'iode en léger excès

1. Dans cette curieuse expérience, il m'a semblé que l'iodure employé était complétement exempt d'iode en excès : l'influence de l'oxygène de l'air paraissait évidente. Afin d'essayer de m'en assurer directemeut et de constater que la triple influence supposée était nécessaire pour que l'iodure de potassium pur cédât de l'iode à la fécule, j'ai répété l'expérience dans le gaz azote, et alors à peine des traces de coloration violette apparurent-elles. La présence de l'oxygène paraissait donc indispensable, et dans ce dernier cas la coloration avait lieu même dans l'obscurité.

Toutefois, je n'oserais encore me prononcer sur la théorie très-délicate de cette réaction complexe qui, d'ailleurs, offre parfois des variations à étudier.

y produisit une coloration violette intense. La substance organique teinte par l'iode se trouva contractée sous l'influence de l'iodure de potassium : elle apparut effectivement en flocons séparés en suspension, qui peu à peu se réunirent au fond du tube.

Ainsi donc, l'iodure de potassium, qui d'abord avait gonflé considérablement et en très-grande partie dissous la substance amylacée, contractait cette substance unie à l'iode comme le font la plupart des sels neutres et des acides.

La contraction due à l'iodure de potassium est même plus prononcée que celle effectuée par les chlorures de potassium et de sodium : en effet, les précipités d'iodure d'amidon produits par ces deux derniers composés dans une solution faite par l'eau bouillante, à 1/300ᵉ de fécule filtrée, refroidie et bleuie par l'iode, se dissolvent et se décolorent subitement au contact d'un léger excès d'ammoniaque, tandis que, même en dose plus faible de 1/400ᵉ, la substance amylacée dissoute à froid par l'iodure de potassium donna par l'iode un précipité de semblable apparence, mais qui, au lieu de disparaître instantanément au contact de l'ammoniaque, ne céda que très-graduellement à l'action de cette base, passant par des teintes peu à peu affaiblies, en trois heures et demie ou quatre heures, du violet bleuâtre au violet rouge, puis au rose orangé, enfin au jaune légèrement ambré, avant de disparaître entièrement.

Ainsi, l'iodure de potassium, qui exerce à froid sur la fécule une action dissolvante énergique, dont les chlorures alcalins sont entièrement dépourvus, contracte cependant avec une plus grande énergie que ces derniers et rend plus stable la même substance organique unie à l'iode. C'est encore là un caractère qui tend à séparer les deux chlorures alcalins de l'iodure de potassium.

Entre les chlorures de potassium et de sodium eux-mêmes, j'ai maintes fois observé une différence de réaction sur l'iodure d'amidon (dans la solution précitée à 1/300ᵉ de fécule) : cet iodure bleu, précipité par la solution saturée de chlorure de potassium (1/3 du volume total), puis décoloré par un petit excès d'ammoniaque, perdit totalement, en moins d'une heure, la propriété de reprendre directement une coloration bleue par la saturation avec l'acide acétique en excès; dans les mêmes

conditions, le chlorure de sodium laissa, durant plus de dix heures, à l'iodure d'amidon décoloré, la propriété de reprendre, par la saturation, une couleur bleue intense; il ne perdit totalement cette propriété peu à peu affaiblie en 36 heures, qu'après un laps de temps de quarante-huit heures.

La solution aqueuse faite à chaud, à 1/300ᵉ fécule, refroidie et filtrée, puis bleuie par l'iode sans excès, abandonnée quinze jours en flacon bouché à l'émeri, la température ayant varié entre + 20° et + 24°, éprouva quelques modifications[1] que manifestèrent les influences comparatives des solutions saturées à la température de + 22° des chlorures de potassium et de sodium et du bromure de potassium, bien qu'entre les réactions de ces trois composés sur l'iodure d'amidon les différences caractéristiques se soient maintenues comme on va le voir :

Si l'on mélange la solution de CHLORURE DE POTASSIUM, 1 volume avec le *liquide bleui* 4 volumes, la coloration bleue disparaît à l'instant et ne se reproduit ni en ajoutant de l'ammoniaque ni en saturant celle-ci par un excès d'acide acétique aux mêmes intervalles de temps que dans les expériences ci-dessous.

Si, au lieu de ces deux additions successives, on verse à trois ou quatre reprises de la solution d'iode (aqueuse alcoolisée) en quantité quadruple de celle employée pour préparer le liquide bleu, chaque addition d'iode produit une coloration bleue qui disparaît en agitant, comme si le chlorure de potassium exerçait une action dissolvante énergique sur l'iodure d'amidon. En effet, lorsque, par la dernière addition d'iode, celui-ci se trouve en excès, la coloration reparaît, et l'iode bleu d'amidon qui la produit se précipite graduellement, laissant incolore le liquide surnageant.

Dans des conditions toutes semblables, les phénomènes produits par le CHLORURE DE SODIUM offrent de notables différences. En ajoutant à un volume de solution quatre volumes du liquide bleui, la coloration persista, et l'iodure d'amidon fut peu à peu précipité au fond du tube, laissant incolore le liquide surnageant; l'addition de l'ammoniaque en léger excès fit aussitôt disparaître (en agitant le tube) le précipité et sa coloration; d'ailleurs, soit immédiatement, soit au bout d'un ou de plu-

1. Nous appellerons cette solution d'iodure amylacé *liquide bleui*.

sieurs jours, la saturation par l'acide acétique en léger excès fit immédiatement reparaître la coloration bleue, puis le précipité.

De nouveaux phénomènes se manifestèrent dans de semblables conditions sous l'influence du BROMURE DE POTASSIUM. Un volume de sa solution saturée, plus quatre volumes du liquide bleui, produisirent un mélange doué d'une coloration intense, puis, par le repos, un précipité de l'iodure d'amidon laissant la solution surnageante incolore. Une addition d'ammoniaque en excès ne détruisit immédiatement ni la coloration bleue ni le précipité, qui se rassembla de nouveau, en effet, par le repos. Ce précipité bleu intense persista longtemps; toutefois, au bout de douze heures, plus des 0,95 s'étaient spontanément dissous, et en agitant le tube à trois reprises, tout le liquide devint diaphane et sensiblement incolore; six heures plus tard, toute teinte ayant disparu, on satura l'ammoniaque par l'acide acétique en excès, et le liquide resta incolore.

Dans des essais d'épuration de l'iodure de potassium par le procédé ci-dessus décrit d'après MM. Gherardt et Chancel, et qui peut donner de très-bons résultats, plusieurs occasions se sont offertes de constater l'une des causes d'irrégularités de composition et des propriétés de cet iodure.

Après avoir concentré la solution très-légèrement alcaline jusqu'au terme où elle est saturée pour la température de 90 degrés, le refroidissement gradué donna une cristallisation nette.

L'eau mère fut décantée, mise à part; les cristaux, égouttés, lavés, furent dissous à l'eau pure. Ces deux liquides ayant été soumis comparativement à l'épreuve rigoureuse de l'acide acétique en minime excès, puis de la fécule à l'état normal (4 à 5 centièmes), il fut dès lors facile de reconnaître que l'eau mère ne renfermait pas d'iode au delà des proportions constituantes du composé neutre, tandis que les cristaux redissous présentaient des traces d'iode en excès sur la composition définie d'un équivalent d'iode uni à un équivalent de potassium.

L'affinité qu'exerce sur l'iode l'iodure de potassium, au moment de sa cristallisation, peut donc lui faire absorber ce corps au point que l'eau mère s'en trouve débarrassée[1].

1. Toutes ces expériences ont été faites dans des tubes que l'on bouchait immédiatement après chaque addition; quelques-uns de ces phénomènes difficiles à

Des recherches ultérieures seront nécessaires pour savoir si une solution plus ou moins étendue d'iodure de potassium, même pur, ne pourrait être altérée, durant la concentration sous les influences combinées de la chaleur, de l'oxygène et de l'acide carbonique de l'air ambiant, de même que cela a lieu en présence d'un léger excès d'acide acétique ou d'un autre acide même très-affaibli.

Quoi qu'il en soit, ces observations montrent la nécessité de faire disparaître toute trace d'iode et d'acide en excès dans la solution avant la concentration et la cristallisation de l'iodure de potassium; elles signalent des causes de l'irrégularité de composition et de certains effets de cet iodure que l'on aurait pu croire épuré parfaitement à l'aide de cristallisations répétées.

CONCLUSIONS.

1° L'iodure de potassium des différentes origines, livré comme réactif ou comme médicament, contient en général du carbonate de potasse et de l'iode en excès;

2° L'iodure de potassium, soit pur, soit légèrement alcalin et ioduré en solution aqueuse saturée, peut gonfler les grains de la fécule au point d'accroître de 25 à 30 fois leur volume, dissolvant la substance interne et donnant à la couche externe une énorme extension;

3° Le bromure de potassium produit des effets semblables;

4° Les chlorures alcalins ne donnent lieu ni au gonflement de la fécule ni à la dissolution de la substance amylacée;

5° La solution aqueuse saturée d'iodure de potassium, étendue de 3 1/2 volumes d'eau et au delà, est inerte à froid sur la fécule;

6° L'acide carbonique met partiellement en liberté l'iode de l'iodure de potassium légèrement alcalin et ioduré;

7° L'air atmosphérique peut produire un effet analogue: son action cesse s'il est dépouillé d'acide carbonique;

8° L'iodure de potassium pur en solution saturée, dans un vase diaphane clos, reste très-longtemps incolore à la lumière

expliquer dépendraient peut-être de traces d'acide sulfhydrique retenu même après la concentration du liquide.

diffuse et plus de deux heures au soleil. La fécule gonflée à froid par 16 à 25 fois son volume de cette dissolution reste incolore dans ces deux circonstances;

9° Dans les mêmes conditions, la solution d'iodure de potassium ioduré, légèrement alcalin, est colorée en jaune : l'empois translucide produit à froid par cette solution agissant sur la fécule se teint spontanément en violet;

10° On reconnaît immédiatement des traces d'iode en excès dans l'iodure de potassium, à l'aide d'un très-léger excès d'acide acétique qui produit une teinte jaune dans la solution et de 2 à 5 centièmes de fécule amylacée, celle-ci manifestant aussitôt la coloration violette. Si l'iodure était pur, la solution resterait incolore, puis toute la masse des granules gonflés par cette solution ne prendrait pas immédiatement une coloration violette;

11° La propriété remarquable des bromure et iodure de potassium offre un moyen de plus de caractériser les granules amylacés dans les tissus végétaux;

12° Le gonflement des couches concentriques de la fécule et leur dissolution presque intégrale par le bromure et l'iodure de potassium, qui sont inertes sur la cellulose; l'action du réactif de Schweitzer, qui dissout à l'instant la cellulose pure, tandis qu'il maintient, par son excès même et durant plusieurs années, les granules féculents gonflés, occupant environ 20 fois leur volume primitif, unis à l'oxyde de cuivre, mais non dissous; enfin le gonflement à froid de la fécule et sa dissolution à chaud dans la solution de chlorure de zinc, observés par M. Béchamp, tous ces faits concourent à démontrer que la cellulose et l'amidon, doués d'une composition identique et de plusieurs propriétés différentes, sont isomères; qu'ainsi on ne peut admettre, avec M. Nägeli, que les grains de fécule soient composés de cellulose et de *granulose*, ni, à plus forte raison, qu'il s'y trouve, conformément aux vues du même savant, six principes immédiats distincts.

Sans doute il y a dans chaque grain de fécule des couches superposées, douées de propriétés spéciales qui se manifestent surtout au contact de l'iode et peuvent y faire admettre deux substances différentes; mais, comme plusieurs moyens de désagrégation ramènent l'identité des effets de l'iode; que la diastase neutre ainsi que divers acides transforment simultanément ou

successivement les deux parties en dextrine et en glucose, il semble permis de considérer toute la masse des grains amylacés comme formée d'un seul principe immédiat en couches concentriques qui offrent des différences notables dans leurs degrés multiples de cohésion.

Les faits nouveaux, ainsi que les faits antérieurs, prouvent que, sauf des traces de substances étrangères, chaque grain de la fécule épurée présente des couches concentriques douées d'une cohésion graduellement moindre pour chacune d'elles, comme pour toute la masse du grain, de l'extérieur à l'intérieur ou de la périphérie au centre;

13° Je crois avoir démontré qu'en présence d'un excès d'iode, les phénomènes de décoloration et de coloration alternatives de l'iodure d'amidon, par la chaleur et le refroidissement, tiennent à un écartement des particules amylacées, puis à une contraction qui fait apparaître le phénomène de teinture de ces particules groupées, et non à la volatilisation et au retour de l'iode;

14° Pour obtenir l'iodure de potassium pur, il faut que toute trace d'iode en excès ait disparu de la solution au moment où cet iodure cristallise;

15° L'iodure de potassium, qui gonfle avec tant d'énergie et dissout presque totalement à froid les granules amylacés, a cependant le pouvoir de contracter l'iodure d'amidon plus fortement que les chlorures de potassium et de sodium;

16° Le dernier de ces deux chlorures maintient beaucoup plus longtemps dans l'iodure d'amidon décoloré par l'ammoniaque la propriété de reprendre une coloration bleue, au contact de l'acide acétique en excès; le chlorure de potassium en excès exerce une action dissolvante sur l'iodure bleu d'amidon. Des phénomènes tout différents sont produits par le bromure de potassium;

17° En ce qui touche l'iodure de potassium destiné à la thérapeutique, il est désirable que ce composé soit administré à l'état pur; que si, dans certains cas, le médecin voulait prescrire l'iodure de potassium ioduré, on devrait y ajouter l'iode en proportions dosées exactement et suivant la prescription : on aurait alors un deuxième médicament susceptible d'offrir plusieurs variétés;

En effet, ainsi que l'a fait observer M. Chevreul, après cette

communication, à une époque où les médecins commencent à apprécier l'avantage de l'emploi en thérapeutique des *espèces chimiques*, telles qu'un *sel de morphine*, un *sel de quinine*, etc., au lieu d'une matière complexe indéfinie comme le sont l'*opium*, les décoctions ou infusions d'une écorce, d'une racine, etc., il est nécessaire que les médecins aient égard aux conséquences qui se déduisent de ces recherches, puisque l'*iodure de potassium* à l'état pur est une *espèce chimique*, et qu'en le prescrivant avec la connaissance précise de ses propriétés organoleptiques, le médecin sait ce qu'il en attend. Mais si cet *iodure* contient du *carbonate de potasse*, de l'*iode en excès*, ce n'est plus une *espèce pure*, car le *carbonate de potasse* et l'*iode en excès à la composition de l'iodure de potassium* agissent autrement que cet *iodure de potassium défini*.

Il importe donc que le médecin ne soit pas exposé à être trompé en employant *autre chose* que ce qu'il *veut employer avec connaissance de cause*.

Les expériences sur la réaction de l'*iodure* ou du *bromure de potassium* et de l'amidon, si différente de celle du *chlorure de potassium* ou du *chlorure de sodium* et de l'amidon, doivent être prises en sérieuse considération au point de vue de l'étude des *propriétes organoleptiques*.

Il serait bien à désirer que le public trouvât toujours chez les pharmaciens des *espèces chimiques pures*, et non de ces *espèces mélangées* dont l'action médicale peut être incertaine.

18° L'analogie remarquable que présente, dans le phénomène du gonflement des granules amylacés, le bromure avec l'iodure de potassium me semblerait de nature à provoquer de nouvelles expériences physiologiques comparatives sur ce bromure qui, dans cette réaction et de même que l'iodure, diffère entièrement des chlorures alcalins.

Presque tous les phénomènes signalés dans ce mémoire peuvent être reproduits facilement par des expériences démonstratives dans un cours de chimie expérimentale.

ÉTUDES CHIMIQUES ET PHYSIOLOGIQUES

SUR LES VERS A SOIE,

PAR M. EUG. PELIGOT.

Dans un travail que je poursuis depuis longtemps, et dont j'ai publié la première partie en 1853, et un autre fragment en 1858, je me suis proposé d'étudier avec la balance les différents phénomènes qui président à la vie et aux métamorphoses des vers à soie.

Une certaine quantité d'œufs de vers à soie étant donnée, déterminer leur composition, ainsi que celle des larves qu'un poids égal des mêmes œufs fournit à l'éclosion; nourrir ces larves, dans les conditions des éducations ordinaires, avec des feuilles de mûrier pesées; déterminer la composition des feuilles données, des feuilles laissées, des vers et de leurs excréments; faire la même recherche en ce qui concerne la chrysalide et le papillon; en un mot, établir la statique chimique du ver à soie, depuis sa sortie de l'œuf jusqu'à sa mort : tel est le problème que je me suis proposé de résoudre.

Je dois avouer qu'en abordant ces questions, je m'étais laissé séduire trop facilement par leur apparente simplicité. Il m'avait semblé que, si nos moyens actuels d'investigation peuvent utilement servir à aborder le problème de la vie animale, c'est en les appliquant à l'étude des conditions du développement d'un être pris sur les derniers degrés de l'échelle zoologique, n'acceptant qu'une seule substance alimentaire, la feuille du mûrier, et dont toutes les fonctions s'accomplissent, pour ainsi dire, à la même place. Mais, en réalité, si la détermination des corps élémentaires, le carbone, l'hydrogène, l'azote, l'oxygène, ainsi que celle des substances minérales, mis en jeu dans une éducation de vers à soie, ne présente pas de difficultés bien sé-

rieuses, il n'en est pas de même lorsqu'il s'agit de rechercher les principes immédiats qui préexistent dans la feuille de mûrier et qui sont transportés ou modifiés, soit dans l'insecte sous ses différentes formes, soit dans les déjections qui accompagnent ses métamorphoses. Les moyens que nous possédons actuellement pour opérer la séparation de chacune des substances qui constituent une feuille d'arbre ou un insecte sont encore beaucoup trop imparfaits pour qu'une pareille étude puisse être conduite à bonne fin. L'emploi des dissolvants, qui est à peu près la seule méthode qu'on puisse tenter aujourd'hui, n'a généralement d'autre résultat que de réunir en un certain nombre de groupes des corps doués de propriétés plus ou moins analogues. Isoler chacun de ces corps de manière à en effectuer le dosage exact, surtout en présence de la quantité de matière toujours fort limitée dont dispose l'opérateur, est un problème dont la solution reste encore à trouver.

Une difficulté d'un autre ordre résulte des accidents qui accompagnent le développement de tous les êtres vivants, accidents auxquels plus que tous les autres les vers à soie ont, depuis une dizaine d'années, payé un large tribut. Alors même qu'il ne s'agit que de déterminer le poids des substances élémentaires qui concourent à une éducation pesée, cette recherche n'est possible qu'autant que cette éducation, continuée pendant plusieurs semaines, en évitant toute erreur de pesée, s'est accomplie sans qu'aucun ver ait été distrait par la maladie ou par une autre cause. La saison qui permet ce genre d'étude est tellement circonscrite, que si l'une de ces causes de perturbation se présente, c'est à l'année suivante qu'il faut remettre la suite ou la vérification d'une expérience commencée. Aussi, bien que je n'aie pas cessé de poursuivre ce travail que j'ai commencé en 1845, je suis loin de considérer ma tâche comme accomplie, et je suis encore fort éloigné du but que je me proposais d'atteindre.

Néanmoins, dans la première partie de ces études que j'ai publiée en 1853 dans les *Mémoires de la Société Impériale et Centrale d'agriculture*, je me suis efforcé d'établir quel est le partage des substances minérales contenues dans la feuille de mûrier entre les différents produits d'une éducation de vers à soie.

Dans ce but, on a soumis à l'incinération un poids de feuilles égal à celui qui a été distribué aux vers : le poids et l'analyse de ces cendres, comparés au poids et à l'analyse des cendres laissées

tant par les vers que par leur litière et par leurs déjections, m'ont conduit à cette conclusion qu'au point de vue de la distribution des matières minérales que la feuille de mûrier emprunte au sol, l'insecte accomplit un travail incessant d'élimination qui a pour résultat d'écarter peu à peu, sous forme de déjections de nature variée, les substances qui ne servent pas à son développement, ou celles qui s'y trouvent en quantité excédante, en s'appropriant et en conservant les matières que semble réclamer la reproduction de son espèce et qu'on retrouve dans l'œuf, but final de son existence. Ainsi, en ce qui concerne les produits minéraux, les substances éliminées et qui existent, par conséquent, en plus grande quantité dans les litières que dans les feuilles distribuées, sont la silice, le sulfate et le carbonate de chaux; celles que les larves s'approprient, qu'on retrouve dans ses tissus, dans la chrysalide, dans le papillon, ainsi que dans les œufs, sont l'acide phosphorique, la potasse et la magnésie. Ce sont ces mêmes éléments, qu'on peut appeler organisateurs par excellence, qu'on rencontre dans toutes les semences, dans les œufs comme dans les graines. J'ai montré que, sous le rapport des produits inorganiques, les cendres d'un œuf de ver à soie présentent la plus grande analogie avec les cendres d'un grain de blé; les mêmes éléments s'y rencontrent, non pas exactement dans les mêmes rapports, quoique la différence ne soit pas considérable, mais en offrant tout au moins entre eux les mêmes relations numériques. Ainsi, après l'acide phosphorique, qui dépromine toujours, arrive la potasse, puis la magnésie, que toutes les semences renferment en grande quantité.

Ces résultats, en ce qui concerne le transport de l'acide phosphorique, de la potasse et de la magnésie dans la graine et dans les parties qui l'avoisinent, ont été, depuis la publication de mon travail, confirmés par plusieurs observateurs.

Je me suis proposé, dans le travail que je présente aujourd'hui à l'Académie, de faire pour la répartition des matières organiques ce que j'ai fait antérieurement pour celle des substances minérales.

Ce problème peut être abordé de deux manières.

La composition de la feuille de mûrier étant préalablement déterminée sous le rapport des différents principes immédiats qu'elle renferme, on peut chercher à suivre, dans les larves et

dans leurs déjections, dans les chrysalides et dans les papillons, le transport de ces matières ou les modifications qu'elles éprouvent sous l'influence des fonctions vitales de l'insecte.

A défaut de cette solution rigoureuse et définitive à laquelle je ne prétends pas arriver quant à présent, la question peut en recevoir une, pour ainsi dire, préliminaire. Celle-ci offre un intérêt d'autant plus grand qu'elle peut être généralisée et étendue à une partie considérable du règne animal.

Les éducations ont été conduites comme celles qui avaient pour objet d'établir la répartition des substances minérales.

Deux lots de vers à soie, de même origine et de même âge, sont pesés exactement. L'un des lots est soumis à la dessiccation et est analysé de manière à donner la composition élémentaire des vers mis en expérience, c'est-à-dire le poids du carbone, de l'hydrogène, de l'azote, de l'oxygène et des matières minérales qu'il renferme, poids qu'il faudra retrancher de celui des vers nourris. L'autre lot reçoit, pendant la durée de son existence, des feuilles de mûrier pesées. On conserve, lors de chaque pesée, un poids de feuilles égal à celui qu'on distribue aux vers. En équilibrant les deux plateaux de la balance avec les mêmes feuilles, sans s'inquiéter de leur poids absolu, on fait ces pesées d'une façon rapide et comparative.

Les feuilles conservées sont abandonnées à la dessiccation spontanée, dans les mêmes conditions de température et de surfaces exposées à l'air que les feuilles distribuées aux vers. Il en est de même de la litière dont on sépare soigneusement les déjections.

L'expérience terminée, on pèse chacun des produits qu'on a préalablement desséchés dans les mêmes conditions, soit dans le vide sec à la température ordinaire, soit à l'étuve à 110 degrés.

La composition de ces divers produits est déterminée par les procédés ordinaires de l'analyse organique.

Comme la composition de la feuille de mûrier, qui est le point de départ de cette recherche, varie notablement avec l'espèce à laquelle l'arbre appartient, avec la nature du terrain, avec l'âge des feuilles, etc., il importe de prendre les précautions les plus minutieuses pour se placer dans des conditions aussi comparatives que possible.

Mes expériences ont été faites avec des feuilles de mûriers sauvages, provenant d'un terrain calcaire, à Sèvres. Ces feuilles

sont plus riches en matières azotées que les feuilles de mûrier greffé dont on fait généralement usage dans le Midi. J'ai eu plusieurs fois l'occasion de constater que les éducations faites simultanément avec les mêmes graines réussissaient mieux chez moi que dans plusieurs localités du Midi ou du centre de la France. C'est ainsi que j'ai pu conserver la belle race de vers à soie de M. André Jean, deux ans après sa disparition complète des magnaneries du Languedoc et de la Touraine. Je ne saurais dire si ces résultats doivent être attribués au peu d'importance de mes éducations ou bien à la nature un peu différente des feuilles employées. Je reviendrai d'ailleurs sur ce point dans une autre partie de mon travail, dans laquelle j'aborderai diverses questions pratiques qui ne peuvent trouver place dans ce mémoire.

Je donnerai d'abord les résultats d'une éducation faite en 1851, éducation dont j'ai donné les éléments dans la première partie de ces études.

Expérience n° 1.

Le poids des feuilles données aux vers, déterminé à l'état sec, comme celui des autres produits, a été de. 265gr,00

Les produits obtenus pesaient :

	gr.		
Vers	20,16		
Litières	136,00	. . . . .	254gr,16
Déjections	98,00		

Différence en moins. 10gr,84

Cette perte, qu'on retrouve dans toutes ces expériences, est due essentiellement à l'acide carbonique produit par la respiration des vers.

Dans le tableau qui suit, on a attribué aux feuilles laissées (la litière) la même composition qu'aux feuilles distribuées.

Tableau n° 1. — Composition en centièmes.

	FEUILLES ET LITIÈRES.	VERS.	DÉJECTIONS.
Carbone	43.73	48.10	42 00
Hydrogène	5.91	7.00	5.75
Azote	3.32	9.60	2.31
Oxygène	35.44	26.30	36.14
Matières minérales	11.60	9.00	13.80
	100.00	100.00	100.00

En calculant le poids de chacun de ces éléments contenus dans les feuilles et dans les produits de l'éducation qui en dérivent, on obtient les nombres suivants :

Tableau n° 2.

	FEUILLES.	VERS.	DÉJECTIONS.	LITIÈRE.
	gr.	gr.	gr.	gr.
Carbone............	115.88	9.69	41.16	59.47
Hydrogène..........	15.66	1.41	5.62	8.03
Azote..............	8.79	1.93	2.26	4.51
Oxygène............	93.81	5.30	35.41	48.19
Matières minérales....	36.70	1.81	13.52	15.77
	264.84	20.14	97.97	135.97

Le tableau n° 1 permet d'établir que le résultat de l'éducation est de transporter dans l'insecte une partie de la matière azotée contenue dans les feuilles, celle-ci étant en même temps plus riche en carbone et en hydrogène que l'ensemble des matières organiques que ces feuilles contiennent. Comme conséquence, les déjections sont relativement pauvres en azote, riches en substances minérales. Comme elles proviennent d'une sorte de combustion, elles contiennent plus d'oxygène que les vers et même que les feuilles.

Il faut d'ailleurs remarquer que l'éducation ayant été terminée, de même que celles qui suivent, avant que les vers aient accompli les dernières phases de leur développement comme larves, avant leur maturité, pendant qu'ils mangeaient encore, les écarts de composition sont beaucoup moins grands que si les vers avaient été pris au moment où ils commencent à faire leur cocon ; à cette époque de leur existence, après qu'ils se sont dépouillés des déjections qui constituent la plus forte partie de leur poids, ils contiennent 12 à 14 p. °/₀ d'azote.

En comparant, au moyen des nombres inscrits au tableau n° 2, la composition des feuilles à celle des produits de l'éducation, c'est-à-dire des vers, des déjections et de la litière, on voit qu'en ce qui concerne les éléments organiques, les produits de l'éducation présentent, par rapport aux feuilles consommées, une perte ainsi répartie :

	gr.
Carbone	5.56
Hydrogène	0.60
Azote	0.09
Oxygène	4.91
Perte totale	11.16

Le carbone, qui entre dans ce déficit pour la part la plus forte, disparaît sous forme d'acide carbonique par la respiration des vers. Quant aux autres éléments, avant de discuter les conséquences qu'on peut tirer de ces analyses, il importe d'établir que le sens des résultats qu'elles ont fournis est constant. Aussi, avant d'entamer cette discussion, je crois devoir choisir, parmi les expériences très-nombreuses que j'ai faites, celles qui me paraissent avoir été exécutées dans les meilleures conditions.

Expérience n° 2. — Éducation faite en 1859.

On a mis en expérience 0gr,620 de vers naissants sortant de leur coque. Ces vers provenaient de graines d'Andrinople. Ils contenaient 14 p. °/o de matières sèches; en conséquence, le poids sec de ces larves était de 0g,086.

Voici leur composition :

	gr.
Carbone	47.62
Hydrogène	6.37
Azote	15.09
Oxygène	27.42
Matières minérales	3.50
	100.00

Cette analyse permet de retrancher du poids des vers élevés celui de chacun des éléments contenus dans les 0gr,080 de vers mis en expérience.

Du 10 mai au 4 juin, on a donné aux vers 844gr,97 de feuilles fraîches.

Celles-ci, desséchées dans le vide sec à la température ordinaire, pesaient. 227gr,28

Les produits obtenus, desséchés dans les mêmes conditions, représentaient :

	gr.	
Vers	20.05	
Déjections	55.36	220gr,32
Litière	144.91	
Perte due à la respiration		6gr,96

La composition de ces produits est la suivante :

	FEUILLES ET LITIÈRE.	VERS.	DÉJECTIONS.
Carbone	43.93	48.80	40.90
Hydrogène	5.98	7.30	5.55
Azote	4.30	10.31	2.93
Oxygène	36.29	23.59	39.92
Matières minérales	9.50	10.00	10.80
	100.00	100.00	100.00

En partant de ces analyses, les éléments organiques et minéraux sont répartis comme il suit entre les feuilles et les produits de l'éducation :

	FEUILLES.	VERS.	DÉJECTIONS.	LITIÈRE.
	gr.	gr.	gr.	gr.
Carbone	99.82	9.74	22.64	63.74
Hydrogène	13.59	1.45	3.07	8.66
Azote	9.77	2.05	1.62	6.23
Oxygène	82.47	4.71	22.04	52.58
Matières minérales	21.59	1.97	5.97	13.76
	227.24	19.92	55.34	144.97

La différence en moins entre les feuilles distribuées et les produits de l'éducation se compose de :

	gr.
Carbone	3.70
Hydrogène	0.41
Oxygène	3.14

D'une autre part, il y a, au profit de l'éducation, un excédant de 0gr,110 pour les matières minérales et de 0gr,130 pour l'azote. J'attribue ces différences à des erreurs d'observation.

Expérience n° 3. — Éducation de 1861.

Feuilles données aux vers, pesées après dessiccation à 110° 92gr,112

Produits obtenus :

	gr.	
Vers	6.966	
Déjections	17.980	90gr,082
Litière	65.136	

Perte par la respiration. 2gr,030

Les feuilles et la litière contenaient 9,50 de matières minérales pour 100 parties; les vers 10,0 ; les déjections 11,0.

En conséquence les feuilles données renfermaient 8gr,75 de ces matières. Les trois produits de l'éducation en ont fourni le même poids, à 0gr,003 près.

Les feuilles et les déjections ont présenté sensiblement la même composition que dans l'expérience précédente.

On a trouvé pour les vers :

Carbone	47.12
Hydrogène	6.75
Azote	9.50
Oxygène	26.63
Matières minérales	10.00
	100.00

Les éléments organiques et minéraux se trouvaient, en conséquence, répartis comme suit :

	FEUILLES.	VERS.	DÉJECTIONS.	LITIÈRE.
	gr.	gr.	gr.	gr.
Carbone	40.45	3.28	7.35	28.60
Hydrogène	5.43	0.47	0.99	3.84
Azote	3.90	0.66	0.52	2.76
Oxygène	33.79	1.86	7.17	23.84
Matières minérales	8.75	0.69	1.94	6.09
	92.32	6.96	17.97	65.13

La perte, au détriment de l'éducation, se compose de :

	gr.
Carbone	1.22
Hydrogène	0.13
Oxygène	0.92
	2.27

L'azote présente un gain de 0gr,040.

Dans les éducations pesées que j'ai faites pendant ces deux dernières années, j'ai cherché à écarter diverses causes d'erreur que l'expérience m'avait successivement fait connaître.

L'une de ces causes consiste dans l'incertitude que présente

le dosage du carbone dans les matières organiques, lorsqu'elles se trouvent associées à des substances minérales, celles-ci laissant par la combustion une partie de la potasse et de la chaux à l'état de carbonates.

Dans les expériences précédentes, j'avais été conduit à restituer par le calcul à la matière organique le carbone contenu dans les cendres. Celles-ci sont préparées à une température peu élevée; avant d'être pesées, elles sont mouillées avec une dissolution saturée de carbonate d'ammoniaque et fortement desséchées. Le carbone s'y trouve sous deux formes : à l'état libre et à l'état de carbonates alcalin et terreux. On le détermine par les méthodes qui sont décrites dans la première partie de mon travail.

Dans ces dernières expériences, tout en suivant les mêmes procédés pour le dosage des substances minérales, dosage dont l'exactitude importe essentiellement à la détermination par différence de la quantité d'oxygène contenue dans ces produits, j'ai obtenu directement tout le carbone, en substituant à l'oxyde de cuivre dont on se sert habituellement un mélange de bichromate de potasse fondue et d'acide stannique calciné. Des expériences préalables, notamment l'analyse du bitartrate de potasse, m'avaient permis de constater les avantages de cette substitution.

De plus, la composition des feuilles qui restent comme litière peut ne pas être exactement la même que celle des feuilles gardées. Le ver consomme les parties les plus tendres de la feuille; il en laisse les nervures, qui renferment moins de matière azotée. Il convient donc de ne pas attribuer à la litière la même composition qu'aux feuilles consommées, ainsi que cela a été fait dans les premières expériences, à moins que cette identité ne résulte de l'analyse séparée de chacun de ces produits.

Enfin les feuilles d'une même branche d'arbre offrent une composition différente, selon qu'on les prend au sommet ou à la base de la branche; on sait que, d'après les expériences de M. Payen, les jeunes feuilles contiennent plus de matières azotées que les feuilles qui ont atteint tout leur développement. Il est donc utile, à chaque pesée, de former chacun des lots avec des feuilles alternatives détachées du même rameau.

Expérience n° 4. — Education faite en 1865.

Les vers provenaient de la graine du Japon que la Société Zoologique d'Acclimatation m'avait remise sur la demande de mon savant collègue, M. de Quatrefages. Ces vers, très-petits, ont fourni des cocons bien conformés, d'un vert jaunâtre, qui ne pesaient en moyenne que 5 à 6 décigrammes. Cette graine était de très-bonne qualité, car aucun ver n'a été distrait par la maladie.

Voici les données de l'expérience :

Feuilles données (desséchées à la température ordinaire, dans le vide sec, en même temps que les produits de l'éducation). 23gr,750

	gr.	
Vers.	3.356	
Litière.	8.712	. . . . . 22gr,473
Déjections.	10.105	

Perte par la respiration. 1gr,577

L'analyse élémentaire a donné :

	FEUILLES.	LITIÈRE.	VERS.	DÉJECTIONS.
Carbone.	41.87	41.71	45.27	39.85
Hydrogène.	5.99	6.22	6.74	5.34
Azote.	3.95	3.84	8.74	3.18
Oxygène.	35.33	35.37	29.86	34.73
Matières minérales. . . .	12.86	12.86	9.39	16.90
	100.00	100.00	100.00	100.00

Ce qui donne la répartition suivante :

	FEUILLES.	VERS.	DÉJECTIONS.	LITIÈRE.
	gr.	gr.	gr.	gr.
Carbone.	9.944	1.473	4.026	3.633
Hydrogène.	1.422	0.219	0.539	0.541
Azote.	0.938	0.284	0.321	0.334
Oxygène.	8.392	0.975	3.512	3.088
Matières minérales. . . .	3.054	0.305	1.707	1.116
	23.750	3.256	10.105	8.712

La perte se compose de :

	gr.
Carbone	0.812
Hydrogène	0.123
Oxygène	0.817
	1.752

Il y a un excédant de 0gr,074 pour les matières minérales et de 0gr,001 seulement pour l'azote.

Enfin deux autres éducations pesées ont été faites, l'année dernière et cette année, dans le seul but de rechercher la relation qui existe entre l'azote contenu dans les feuilles données et l'azote renfermé dans les produits de l'éducation.

Je me bornerai à en indiquer sommairement les résultats :

Expérience n° 5. — Education faite en 1864.

Feuilles données. 55gr,921

Produits obtenus :

		Azote pour 100.	Poids de l'azote.
Vers	4g.377	— 8.98	— 0g.384
Litière	40.260	— 4.34	— 1.747
Déjections	9.270	— 3.44	— 0.318
Azote de l'éducation			2.449

Les feuilles contenaient pour 100 parties 4,40, et pour le poids indiqué ci-dessus, 2gr,460.

En conséquence la perte d'azote a été de 0gr,011 seulement.

Expérience n° 6. — Education faite en 1865.

Feuilles données. 149gr,12

Elles contiennent 4,0 d'azote pour 100, soit 5gr,964.

Les produits sont :

		Azote pour 100.	Poids de l'azote.
Vers	14g.550	— 10.00	— 1g.455
Litière	78.726	— 3.72	— 2.928
Déjections	48.044	— 3.27	— 1.572
Azote de l'éducation			5.955

La différence en moins est donc de 0gr,009.

En résumant ces expériences et en laissant de côté le carbone dont la perte dans les produits des éducations doit être attribuée à la respiration des vers, on voit que la quantité d'azote contenue dans ces insectes, dans leurs déjections et dans leur litière, est sensiblement égale à la quantité que renfermaient les feuilles qui les ont alimentés.

C'est ce qui ressort de l'inspection des nombres qui suivent :

			gr.
Expérience	N° 1.	Azote en moins..............	0.090
—	N° 2.	Azote en excès..............	0.130
—	N° 3.	Azote en excès..............	0.040
—	N° 4.	Azote en excès..............	0.001
—	N° 5.	Azote en moins..............	0.011
—	N° 6.	Azote en moins..............	0.009

Les différences des dernières expériences sont tellement petites qu'elles sont renfermées dans les limites d'erreur que comportent soit nos procédés d'investigation, soit leur interprétation numérique. Ces nombres, en effet, sont déduits d'expériences qui exigent pour chacune plusieurs centaines de pesées, et les procédés d'analyse qui les ont fournis sont loin d'offrir toutes les garanties de précision désirables. Tels qu'ils sont, et aussi en raison d'un grand nombre d'autres expériences qui ont donné des résultats analogues, je me crois autorisé à en tirer cette conclusion, *que le ver à soie à l'état de larve vit et se développe sans exhaler de l'azote et sans en emprunter à l'air.*

Cette conclusion ne s'accorde pas avec l'opinion généralement admise par les physiologistes, que pendant la vie des animaux il y a exhalaison d'azote; mais, si disposé qu'on soit à considérer les phénomènes de la vie matérielle comme étant les mêmes chez tous les animaux, on ne peut méconnaître combien sont différentes les conditions dans lesquelles se trouvaient les observateurs éminents qui, depuis Dulong, se sont occupés de ces questions et celles dans lesquelles je m'étais placé. Je me suis, à la vérité, ménagé cet avantage, de pouvoir analyser tous les produits d'une éducation, *en y comprenant l'animal lui-même*, et en opérant, sinon sur la totalité des produits, au moins sur une partie dont l'homogénéité comme composition était évidente. Néanmoins, les résultats qu'a fournis une chenille, dont le développement suit

une progression tellement rapide qu'un ver qui pèse, en sortant de son œuf, un demi-milligramme, atteint en trente jours un poids qui dépasse souvent 2 grammes, c'est-à-dire augmente de poids, dans ce court espace de temps, dans le rapport de 1 à 4,000; ces résultats, dis-je, peuvent n'être pas comparables à ceux qui ont été fournis par des animaux pris à l'état adulte, soumis à la ration d'entretien et appartenant aux classes supérieures des espèces zoologiques, les mammifères et les oiseaux.

J'arrive maintenant à la perte de l'hydrogène et de l'oxygène, perte qui ressort de la comparaison des quantités de ces éléments contenues dans les feuilles et de celles retrouvées dans les produits de l'éducation.

Cette perte est représentée comme il suit :

		gr.
Expérience n° 1	Hydrogène	0.60
	Oxygène	4.91
Expérience n° 2	Hydrogène	0.41
	Oxygène	3.14
Expérience n° 3	Hydrogène	0.13
	Oxygène	0.92
Expérience n° 4	Hydrogène	0.122
	Oxygène	0.817

Ces quantités sont évidemment trop fortes pour être attribuées à des erreurs d'observation. Mais il suffit de comparer la perte de l'hydrogène à la perte toujours beaucoup plus considérable de l'oxygène pour voir que, le poids du premier de ces éléments étant représenté par 1, celui de l'oxygène est sensiblement représenté par 8 ; en d'autres termes, que la respiration ou la nutrition du ver à soie amène la disparition sous forme d'eau d'une partie de la substance alimentaire qu'il consomme.

En conséquence, *il ne paraît pas que pendant le développement de cet insecte il y ait exhalaison d'hydrogène.* La feuille qu'il consomme présente à la vérité l'hydrogène et l'oxygène dans des rapports beaucoup plus rapprochés de ceux de la composition de l'eau que les aliments qui servent aux animaux des classes supérieures, notamment que les matières grasses qui, relativement très-riches en hydrogène, existent dans ces aliments en proportion plus ou moins considérable.

Ce n'est d'ailleurs qu'avec beaucoup de réserve que je présente cette déduction de mon travail. En effet, si la fixation de

la perte d'hydrogène ne présente pas de difficulté sérieuse, il n'en est pas de même à l'égard de l'oxygène, qui ne peut se déduire que par différence, chacun des autres éléments étant préalablement déterminé. Comme toutes les erreurs d'observation qui ne se compensent pas s'accumulent sur ce résidu, on comprend que, tout en considérant comme probable le résultat que je viens d'énoncer, je ne doive le soumettre aux physiologistes qu'avec hésitation et avec le désir de le voir contrôlé par des expériences ultérieures.

En résumé, les conclusions que je crois pouvoir tirer de cette partie de mes études sur les vers à soie sont les suivantes :

1° Le développement des larves se fait par le transport et l'assimilation d'une partie de la matière azotée contenue dans la feuille de mûrier. Comme la composition chimique et probablement la structure anatomique sont sensiblement les mêmes au commencement et à la fin de l'éducation, dans le ver naissant et dans le ver arrivé à maturité, les phénomènes de la nutrition sont également les mêmes pendant les diverses phases de l'accroissement des larves;

2° L'analyse des éducations pesées permet de constater une déperdition considérable de carbone servant à produire l'acide carbonique qu'on trouve dans l'air expiré par l'insecte. Cette quantité d'acide carbonique est telle que; pour fixer 100 parties de carbone qu'il emprunte aux feuilles, le ver en consomme 40 à 50 autres parties qui, par la respiration, se transforment en acide carbonique. Dans leur beau travail sur les produits gazeux de la respiration, MM. Regnault et Reiset ont déjà fait cette remarque, que la respiration du ver à soie est beaucoup plus active que celle de la plupart des animaux sur lesquels ils ont expérimenté;

3° Il ne paraît pas qu'il y ait exhalaison ou fixation d'azote pendant le développement des vers à soie;

4° La perte d'hydrogène constatée par les analyses semble correspondre à une perte d'oxygène telle, qu'on peut admettre qu'une portion notable de la substance alimentaire disparaît pendant la nutrition sous forme d'eau; de sorte qu'en définitive, en dehors des matières assimilées et des matières excrétées, l'alimentation ne fournit que les produits ultimes de la combustion, l'eau et l'acide carbonique.

ÉTUDE DU FEUTRAGE

ET

DES FIBRES DOUÉES DE LA PROPRIÉTÉ DE FEUTRER

PAR M. MICHEL ALCAN.

DÉFINITIONS ET CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

Feutrer, c'est produire par une action mécanique l'agrégation intime des filaments isolés et sans adhérence d'une nappe pour en former soit des fils, soit des surfaces ou étoffes flexibles et solides sans le concours des moyens ordinaires qui transforment les fils et les tissus.

Fouler, c'est feutrer des fils tissés ou terminer le feutrage de surfaces qui ont subi un commencement d'agrégation.

Le feutrage détermine non-seulement une transformation mécanique de la masse en augmentant l'épaisseur du produit en raison de la diminution de la surface, mais aussi un changement de volume de la substance, déduction faite de l'air et des vides interposés. Le rapport des volumes avant et après le feutrage correspond à une quantité particulière de retrait qu'il est convenable de désigner sous le nom de *retrait physique* ou de feutrage, pour le distinguer du retrait mécanique ou *embuvage* résultant du rapprochement exclusif des fibres et des fils dans les diverses transformations ordinaires[1]. Le retrait physique ne commence que lorsque l'embuvage du retrait ordinaire est arrivé à sa limite.

1. *Embuvage* est un terme qui indique le raccourcissement et le rétrécissement d'une étoffe, résultant des entrelacements des fils de la chaîne et de la trame.

Les substances non feutrables ne sont affectées que par le retrait mécanique; l'action prolongée au profit des fibres susceptibles de feutrer détériorerait celles qui ne sont pas douées de la propriété feutrante. Le rapport entre les surfaces avant et après leur confection est en moyenne de un dixième pour l'embuvage, tandis que celui résultant du retrait au feutrage dépasse souvent 50 p. 100. Le poids de l'unité de surface est plus que doublé par le feutrage, et c'est à peine s'il change par l'embuvage. Les fibres animales, en général, excepté les soies, sont feutrables à divers degrés; les unes ont besoin d'une préparation pour feutrer régulièrement et rapidement, les autres peuvent s'en passer; les poils, en général, sont dans le premier cas, et les laines dans le second.

Les filaments comparés avant et après avoir subi l'action du feutrage ne présentent aucun changement dans leur composition chimique, leur état physique seulement s'est modifié; leur opacité a diminué, la demi-transparence de la surface intérieure s'est étendue jusque vers les bords, les spires ou hélices se sont rapprochées, les brins se sont raccourcis, ils se sont contractés et sensiblement affinés. Toutes les tranches d'un feutre obtenues par des sections faites dans son épaisseur offrent une constitution identique, leur cohésion est celle de la pièce d'où ils proviennent. C'est une substance ductile formée de fibrilles vrillées ou frisées, tellement condensées, liées et unies entre elles, qu'elles rompent plutôt que de se désagréger; lors même que l'on a introduit de la poudre de laine ou tontisse dans le feutrage, elle s'incorpore intimement au tissu. Cependant, lorsqu'on a pénétré le feutre de quelques-unes des substances autres que de la laine ou des poils, telles que des fragments de soie, certains duvets végétaux dont il a été question dans notre traité du coton, on arrive à les séparer des matières feutrantes. Il est beaucoup plus facile de désagréger et de compter les fils de l'étoffe la plus résistante et la plus solide non feutrée, que d'effilocher un feutre pur formé seulement par l'agrégation des brins. La ténacité relative des deux produits est également en faveur du feutre pour un même poids de substance. Les feutres résultant d'une même quantité de filaments, et produits dans des conditions identiques, sont plus serrés, plus clos, plus compacts et plus tenaces, mais moins flexibles et moins élastiques, lorsqu'ils sont faits avec des poils

qu'avec de la laine. La surface serait moins rigide encore, plus souple et plus élastique, si les brins avaient été filés et tissés avant d'avoir subi l'action du feutrage et du foulage.

Le retrait ou changement de volume de la matière résultant du feutrage, toutes choses égales d'ailleurs, est en raison de la finesse et de la feutrabilité des brins. Il est, en général, plus grand pour les poils que pour les laines, et plus considérable pour les matières feutrantes pures que lorsqu'elles sont mélangées à certains filaments végétaux ou même de la soie qui, employés seuls, ne pourraient constituer un feutre, mais seulement une pâte cassante et friable, sans flexibilité ni souplesse, analogue à celle dont on forme du papier et du carton. Envisagés au point de vue de leur transformation mécanique, directe en surfaces, les matériaux fournis par la nature peuvent, par conséquent, se diviser en deux grandes catégories : en substances filamenteuses susceptibles d'être amenées à l'état de pâte qui n'acquiert de consistance et sa rigidité particulière que par une disposition des fibrilles élémentaires, analogue à celle du réseau ligneux des plantes, où les fibres sont entrelacées ou unies par des filaments capillaires qui les lient les unes aux autres. La liaison ayant lieu par l'entrecroisement juxta et superposé des brins lisses droits, non contractiles, ni élastiques, la surface ne peut être que rigide, friable et sans aucune souplesse ni propriété recherchée pour les étoffes. Les substances feutrables de la seconde catégorie, mises dans les conditions des précédentes par le rapprochement intime des brins au moyen des procédés convenables, déterminent au contraire un produit plus caractérisé par la flexibilité et la souplesse relative très-prononcée dans les feutres minces, et dont sont doués à un certain degré les feutres même les plus forts et les plus carteux. La cohésion de ce corps résulte d'un engrènement ou espèce de pénétration réciproque des aspérités de la surface des filaments et de l'entre-croisement simultané de leurs spires. L'adhérence de deux fibres contiguës repose par conséquent sur le double effet de l'entrelacement de leurs petites hélices, et de l'engagement intime de la denture microscopique de leur périphérie. De là la difficulté de les séparer et leurs propriétés élastiques, résultant de leur constitution particulière et de la nature ductile de la matière dont ils sont formés.

Si ces observations sont exactes, l'élasticité d'un feutre et sa ténacité seront en raison directe des nombres d'hélices et des aspérités d'une même longueur de brin. Lorsque l'un ou l'autre de ces deux caractères dominera, sa propriété correspondante sera dominante. Les feutres résultant d'une même quantité de fibres feutrantes d'origine et de finesses différentes seront donc d'autant plus résistants et plus élastiques que les brins qui le composent seront plus fins et plus vrillés. A finesse égale, l'élasticité dominera pour celui dont les filaments sont les plus frisés, et la ténacité, pour celui doué du plus grand nombre d'aspérités. Ces faits sont démontrés par la pratique journalière. Les poils employés dans la chapellerie, en général très-fins, très-dentelés sur leur contour, mais peu vrillés comme on peut s'en assurer par les fig. 2 *bis* et 8 *bis*, pl. 38, donnent des feutres clos, carteux, résistants, mais peu flexibles et élastiques; ceux de la laine, fig. 1 et 2, pl. 37, dont les brins réunissent la propriété du vrillement aux aspérités du contours, fournissent des produits plus moelleux, moins carteux et sensiblement plus élastiques. Aussi, lorsqu'on veut arriver à combiner les propriétés des deux articles, a-t-on soin de faire des mélanges de poils et de laine, et choisit-on dans celle-ci la plus feutrable, c'est-à-dire la plus fine et la plus vrillée.

Jusqu'à Monge on s'était peu occupé du feutrage; les quelques auteurs qui ont parlé de ce phénomène ne l'avaient envisagé qu'au point de vue des résultats, et se bornaient à décrire les moyens sans les discuter. La question avait d'ailleurs été constamment examinée sous le rapport du rôle joué par tels ou tels éléments intervenant dans l'opération. Personne n'avait songé à l'étude des caractères des filaments feutrants. On était si peu fixé sur ce point, qu'un certain nombre de substances mises en avant par leur feutrabilité n'auraient pas été admises comme possédant cette propriété, si l'on avait été mieux fixé sur la réunion des conditions indispensables pour que les brins jouissent de cet avantage spécial, et si on n'avait confondu un effet mécanique propre à tous les filaments extra-fins avec la feutrabilité dont sont exclusivement douées jusqu'ici certaines matières filamenteuses animales, les poils et les laines en général. Monge le premier devina la véritable constitution des laines et des poils et la cause fondamentale du feutrage. Nous disons qu'il devina cette

cause, car il décrit la conformation des brins non d'après leur observation au microscope, mais par des déductions tirées de l'effet produit au toucher et certain maniement de la substance. Or les caractères essentiels de la laine et des poils, prévus avec la sagacité du génie et que Monge n'avait pu constater, comme il le dit lui-même, ont été souvent plus ou moins confirmés depuis, nous pourrions dire, par tous ceux qui ont bien voulu se donner la peine de se servir des microscopes perfectionnés dont on dispose actuellement. Ce seul fait pourrait démontrer les progrès réalisés dans la construction de ces précieux instruments depuis la fin du dernier siècle. Ces progrès sont tels aujourd'hui que les observateurs voient parfois plus qu'il y a sous l'objectif. Nous pourrions fournir des preuves de ce fait à propos de l'objet qui nous occupe en donnant les formes *séduisantes* que l'on a parfois prêtées aux filaments en vue d'une hypothèse préconçue, si nous ne nous faisions un devoir de nous borner à la constatation des caractères observés avec le soin le plus minutieux, et que nous avons d'ailleurs fixés sur-le-champ au moyen de la photographie. Ce n'est qu'après les examens nombreux de cette nature et la réunion d'un ensemble de faits et d'observations exposés plus loin, que nous sommes arrivé à nous faire sur le feutrage une idée que nous croyons nette et exacte, susceptible d'expliquer les différents cas qui peuvent se présenter et les anomalies apparentes remarquées parfois. Mais, avant d'exposer nos vues à ce sujet, nous pensons qu'on lira avec intérêt les ingénieuses observations de Monge. « Lorsqu'on examine au microscope un poil de lapin, de lièvre, de castor, etc., quelque grand que soit le pouvoir amplifiant de l'instrument, la surface de chacun de ces objets paraît absolument lisse et unie, ou du moins, si l'on observe quelques différences dans la couleur et dans la transparence des parties des objets, elles ne viennent que de l'irrégularité de leurs surfaces, puisque sur le tableau du microscope solaire leurs ombres sont terminées par des lignes droites et sans aspérités. Cependant les surfaces de ces objets ne sont pas lisses; elles doivent être formées ou de lamelles qui se recouvrent les unes les autres de la racine à la pointe, à peu près comme les écailles de poisson se recouvrent de la tête de l'animal vers la queue, ou peut-être mieux encore, de zones superposées, comme on l'observe dans les cornes, et

c'est à cette conformation que toutes les substances dont il s'agit doivent leur disposition au *feutrage.*

« Si d'une main l'on prend un cheveu par la racine, et qu'on le fasse glisser entre les deux doigts de l'autre main de la racine vers la pointe, l'on n'éprouve presque aucun frottement, aucune résistance, et l'on n'entend aucun bruit ; mais si, en le pinçant au contraire par la pointe, on le fait glisser de même entre les doigts de l'autre main de la pointe vers la racine, on éprouve une résistance qui n'avait pas lieu dans le premier cas, et il se produit un frémissement perceptible au tact, et qui se manifeste encore par un bruit à l'oreille.

« On voit déjà que la contexture de la surface du cheveu n'est pas la même de la racine vers la pointe que de la pointe vers la racine, et qu'un cheveu, lorsqu'il es tpressé, doit éprouver plus de résistance pour glisser et prendre un mouvement progressif vers la pointe, que pour glisser vers la racine ; mais comme c'est cette contexture elle-même qui fait l'objet principal de ce mémoire, il est nécessaire de la confirmer encore par quelques autres observations.

« Si, après avoir saisi un cheveu entre le pouce et l'index, on fait glisser les doigts alternativement l'un sur l'autre, et dans le sens de la longueur du cheveu, le cheveu prend un mouvement progressif dans le sens de sa longueur, et le mouvement est toujours dirigé vers la racine. Cet effet ne tient ni à la nature de la peau des doigts, ni à sa contexture ; car si on retourne le cheveu de manière que la pointe soit à la place de la racine et réciproquement, le mouvement a lieu en sens contraire, c'est-à-dire qu'il est toujours dirigé vers la racine.

« Il se passe donc ici une chose parfaitement analogue à ce qui arrive dans un certain jeu des enfants de la campagne, lorsqu'ils introduisent un épi de seigle entre le poignet et la chemise, les pointes des barbes en dehors ; dans les différents mouvements du bras, cet épi, en s'accrochant tantôt à la peau et tantôt à la chemise, prend un mouvement progressif, recule et arrive bientôt à l'aisselle. Or il est évident que cet effet est produit par les barbes mêmes de l'épi, et principalement par les aspérités de ces barbes, qui étant toutes dirigées vers la pointe, ne permettent le mouvement que du côté par lequel l'épi tenait à la tige. Il faut donc qu'il en soit de même du cheveu, et que sa

surface soit hérissée d'aspérités qui, étant toutes couchées les unes sur les autres du côté de la pointe, ne permettent de mouvement que du côté de la racine.

« Un nœud serré fait au milieu d'un cheveu est très-difficile à défaire par un procédé direct à cause de la ténuité de l'objet ; mais si l'on couche le cheveu dans le pli de la main, de manière que le nœud soit placé dans le prolongement du petit doigt, et qu'après avoir saisi le cheveu en fermant la main on frappe du poing une douzaine de coups sur le genou, les aspérités d'une des branches du nœud étant dirigées en sens contraire des aspérités de l'autre branche, chacune de ces branches recule peu à peu, l'une dans un sens, l'autre dans le sens contraire, le nœud s'ouvre ; et, en introduisant une épingle dans l'œil qui s'y forme, il est très-facile d'achever de le défaire.

« Ces observations, qu'il serait superflu de multiplier davantage, sont toutes rapportées sur le cheveu pris pour exemple ; mais elles ont également lieu pour les crins, pour les brins de la laine, et en général pour les poils de tous les animaux.

« D'après cela, il est facile d'expliquer pourquoi le contact des étoffes de laine sur la peau est rude, tandis que celui de la toile est doux ; car les aspérités des brins de la laine, quelque flexible que soit d'ailleurs chaque brin en particulier, en s'accrochant à la peau, font éprouver une sensation désagréable, à moins qu'on n'y soit accoutumé ; tandis que les fibres ligneuses lisses dont la toile est composée ne peuvent faire éprouver rien de pareil. On voit encore que la qualité malfaisante de la laine pour les plaies n'est occasionnée par aucune propriété chimique, et qu'elle vient uniquement de la conformation de la surface des brins : les aspérités s'accrochent aux fibres qui sont à découvert, les irritent, les déchirent, et occasionnent de l'inflammation [1]. »

L'existence des aspérités, si ingénieusement démontrée par Monge et constatée par les faits qui précèdent, ainsi que par les images que donnent les instruments, ne peut plus laisser aucun doute. Ajoutons que c'est elle qui nécessite la lubréfaction des laines dans leur transformation en fils, afin de faciliter leurs glissements successifs, et de neutraliser les frottements et les

1. Observation sur le mécanisme du feutrage, par M. Monge. *Annales de Chimie*, t. VI, année 1790.

résistances qu'opposerait la rugosité de la surface des brins. Le graissage des laines avant de les soumettre aux machines a, par conséquent, un but analogue à celui pratiqué pour les corps tournants, les axes et tourillons des machines, et encore à celui de l'huile sur la chevelure pour lui imprimer les directions les plus convenables. Cette lubréfaction a de plus l'avantage de protéger les aspérités transversales des brins mises à profit dans les transformations ultérieures contre l'action des aiguilles de la carde qui, par leur frottement, feraient ressembler la laine neuve aux brins des déchets provenant des chiffons, et dans lesquels les aspérités, et une partie des propriétés feutrantes [1], ont en général disparu. Les formes données par le microscope et les observations suivantes vont démontrer l'exactitude des appréciations de Monge, et nous permettre d'arriver à des conclusions pratiques.

Examen de la toison à l'état naturel.—Ce qui frappe tout d'abord dans l'état d'une toison, avant de lui avoir fait subir aucun lavage, c'est sa teinte jaunâtre sale, son toucher gras et huileux, si, comme dans la plupart des cas, elle appartient à des moutons blancs; si le pelage est noir ou brun, ce qui est plus rare, la nuance naturelle est également masquée par le corps étranger, facile à constater à l'œil et au toucher. Avec un peu d'habitude, on arrive à reconnaître que la quantité de substances signalées dont les laines sont chargées est variable et que la proportion augmente avec la finesse des brins de la toison; les

1. Nous croyons devoir faire remarquer ici que, pour nous assurer de l'exactitude des formes des poils, que nous donnons planche 37, nous les avons successivement examinés à des grossissements et dans des milieux différents : dans l'eau, le baume du Canada, et l'huile, au microscope ordinaire et au microscope solaire; une partie de ces formes ont, d'ailleurs, été photographiées par M. Lackerbauer, qui a eu l'obligeance de nous assister toutes les fois que nous éprouvions un embarras ou un doute. Malgré toutes ces précautions, nous pouvons affirmer qu'il nous a été impossible de constater un système de spires vésiculaires, parfois simple, parfois multiple, qui ferait voir les poils sous la forme d'une colonne cannelée enfilée dans un cylindre vertical, comme cela a été avancé par un observateur plus heureux, et sans doute plus habile que nous. Nous revenons, d'ailleurs, plus loin sur cette forme de poils en parlant de leur organe générateur.

plus fines présentent une coloration en jaune brun sale très-prononcé; les plus communes sont d'un blanc irrégulièrement jaunâtre.

Soumise à l'action de l'eau à la température ordinaire, soit en baignant et en frictionnant le mouton, soit en y trempant la toison coupée, elle perd une partie de son enduit et de sa coloration naturelle; elle en abandonne une quantité plus notable encore si elle est traitée à l'eau chaude, et si enfin on substitue sur la laine tondue l'action d'un bain alcalin plus ou moins chaud, suivie de celle d'un lavage à l'eau ordinaire, la laine perd pour ainsi dire toute sa matière grasse, reprend sa teinte naturelle, blanche, noire ou brune. Les quatre modes d'opérer auxquels nous venons de faire allusion sont pratiqués dans le commerce des laines. Elle peut, par conséquent, se présenter à cinq états différents. Si elle est à l'état naturel recouverte de toute la substance étrangère qui masque sa blancheur, on la dit à l'état *surge* ou *suint*[1]; si elle n'a reçu qu'un lavage à l'eau froide, on la dit *lavée à froid* ou *à dos*. La première dénomination désigne l'action de l'eau sur la toison coupée et trempée dans l'eau, la seconde indique que c'est sur l'animal que le lavage a eu lieu. Pratiquée à l'eau chaude, l'opération prend parfois le nom de *lavage marchand*, ou simplement de lavage à chaud. Enfin la laine, complétement dégraissée aux alcalis et lavée à l'eau, est dite *lavée à fond*. Cette épuration complète est indispensable au début des transformations; ce n'est que dans un petit nombre de cas, lorsqu'on en fait des produits *extra-communs*, qu'on laisse parfois une certaine proportion du corps gras. Toutes choses égales d'ailleurs, une laine présente par conséquent une quantité de substances étrangères variable avec son état chez le producteur ou sur les marchés. Cette quantité est, en général, en raison directe de la finesse de la laine, et pour la même laine elle est en raison inverse du degré d'épuration. Les proportions enlevées par chaque mode d'épuration restent à peu près constantes, si les températures auxquelles on opère varient peu dans chaque cas. On peut admettre sans chance d'erreur sensible que les proportions de

1. On confond à tort ces deux noms; le surge pouvant être enlevé à l'eau froide, tandis que le suint ne s'enlève qu'à l'eau chaude; la composition des deux matières n'est, par conséquent, pas identique.

suint ou corps étrangers enlevés à la laine par les divers modes d'opérer sont dans les rapports suivants :

Lavage	à froid par le trempage	1/4 pour 100.	
—	dos —	1/3	—
—	chaud	entre la 1/2 et 2/3	—
—	fond	le tout.	

Quant aux quantités absolues de substances grasses, elles varient considérablement : les laines les plus ordinaires en contiennent à peine 20 p. 100 à l'état brut ; les laines mérinos extrafines en sont chargées parfois jusqu'à 80 p. 100, et même plus. Ces proportions peuvent augmenter encore par l'absorption d'une certaine proportion d'humidité, la laine étant un corps sensiblement hygrométrique. Il y a pour l'industrie un intérêt capital de pouvoir apprécier *à priori* le degré de pureté de la laine, et par suite le rendement dont elle est susceptible, qui, toutes choses égales d'ailleurs, détermine sa valeur.

Apparence du brin de la laine en suint.—Le corps étranger dont l'existence est si facile à constater à l'œil nu, et par les opérations les plus simples, n'enveloppe pas les brins de la laine avec la régularité d'un enduit artificiel bien appliqué. Il recouvre le filament par couches et plaques, comme s'il s'était formé au hasard. La figure 1, pl. 37, montre une fibre de laine brute grossie deux cents fois ; elle révèle par places des grosseurs formant des espèces de dépôts ou boutons informes à la surface ; ces mucosités anormales sont parfois de l'épaisseur du filament lui-même. Si on voulait transformer une substance semblable et à l'état brut, non-seulement la nature et la masse de ces espèces de dépôts masqueraient les caractères de la laine et s'opposeraient aux opérations de la teinture et des apprêts, mais les transformations mécaniques mêmes en seraient profondément troublées, le glissement régulier des fibres deviendrait impossible dans la filature.

Apparence du brin lavé à fond.— La fig. 2, pl. 37, fait voir quelques fibres de belle laine prise dans la même partie que la précédente, mais dégraissée à fond, les irrégularités ont entièrement disparu. Des stries longitudinales et transversales, formées comme par une série de calottes coniques qui s'emboîtent l'une dans l'autre, se

manifestent et offrent la figure que donneraient des dés à coudre, disposés les uns dans les autres. On dirait un petit faisceau *filiforme*[1] conique, relié par des liens à des distances égales sur la hauteur, et déterminant un quadrillé produit par la rencontre des filets longitudinaux et des stries transversales. Les caractères communs à toutes les productions pileuses sont d'autant plus manifestes que le brin est plus gros, ils diffèrent plus sensiblement entre eux dans les toisons fines. La figure 3, représentant les cheveux à divers âges, la figure 4, un poil de singe; la figure 5, un crin de cheval, l'apparence commune de tous ces gros poils est complétée par une ligne médiane sombre qui ne se manifeste pas dans les belles laines fines, mais les laines fortes et ordinaires qui n'ont pas atteint la perfection des belles races l'ont d'une façon d'autant plus sensible que leurs brins sont plus roides et plus gros; le groupe de la figure 6, formé par des filaments de la laine du Don, en offre un exemple qui se représente d'ailleurs dans les poils d'alpaca, de chameau, si irréguliers de toison. La forme conique qui n'est pas toujours sensible à l'œil nu, surtout dans les laines mères qui ont été coupées, l'est dans les laines d'agneaux, dans celles des animaux qui n'ont pas été tondus, et dans les poils arrachés. Les poils de putois et de chat, figures 7, pl. 37, et 8 *bis*, pl. 38, ne peuvent laisser de doute sur ce caractère. Ils démontrent que ces filaments vont en s'amincissant de la racine à la partie libre.

Des vrilles ou spires de la laine. — La direction des brins de la laine n'est presque jamais complétement rectiligne; ils sont plus ou moins contournés ou vrillés dans leur longueur. Il en résulte une différence sensible entre ces filaments lorsqu'on les tend pour mieux examiner leur contour au microscope et celle qu'ils présentent à l'état naturel. Ce vrillement, que la laine présente au plus haut degré parmi les fibres animales, est l'un de ses caractères les plus distinctifs. Nous avons déjà vu, néanmoins, que toutes les laines n'ont pas ce caractère au même degré : les unes sont à peine ondulées sur leur longueur, de là la qualification de *lisse*; d'autres le sont au contraire extrêmement et offrent

1. Cette structure des poils et des cheveux se confirme encore par la facilité relative avec laquelle d'habiles artistes sont parvenus à les fendre, ou à les diviser mécaniquement.

une quantité de petites spires d'autant plus nombreuses par unité de longueur, et d'autant plus régulièrement espacées, que les brins sont plus fins, plus homogènes et plus condensés de mèches. Il y a sous ce rapport, entre les caractères extrêmes des fibres, une série de degrés de vrillements et de finesses intermédiaires qui ont servi à les catégoriser d'après une classification indiquée plus loin.

Examen des brins d'alpaca, de vigogne, de chameau, des duvets et poils du cachemire, etc. — Il existe un certain nombre d'animaux dont les brins de la toison offrent une grande analogie de forme avec celle des fibres de la laine. Il suffit de jeter un coup d'œil sur les figures 9, 10 et 11, pl. 37, contenant, la première, des fibres d'alpaca, la seconde, des brins de laine de vigogne, et la troisième, des poils de chameau, pour être frappé de l'analogie entre la forme de ces filaments et ceux de la laine précédemment décrite. Chacun des groupes dont il est question contient des fibres de la même matière, mais de finesse différente. La figure 9, par exemple, montre cinq brins de la laine d'alpaca, offrant de la finesse, mais une assez grande irrégularité qui distingue généralement cette précieuse substance, et un gros brin *a*, avec la ligne ombrée médiane dont il a déjà été question, qui s'est rencontré accidentellement dans la toison. Ce sont ces brins rudes, presque droits, très-peu flexibles et élastiques, qu'on nomme *jarre*. Ce poil inemployable se trouve dans presque toutes les toisons; mais il y en a d'autant moins que la qualité générale est plus belle.

La figure 10 représente trois brins de laine de vigogne, d'une régularité remarquable. Un quatrième *a* est encore un poil jarreux qui s'y est trouvé mêlé, et qui se rencontre néanmoins rarement dans cette substance, tant elle est parfaite lorsqu'elle a été convenablement triée.

Le groupe de la figure 11, des brins de la toison du chameau, montre au contraire leur irrégularité de finesse. Elle est le plus grand défaut de cette laine recherchée pour ses parties fines, qui ne forment jusqu'ici qu'une faible portion de la dépouille de l'animal et nécessite un triage soigné. L'industrie a néanmoins su tirer profit de cette matière, non-seulement pour en faire des fils et des tissus communs, comme cela s'est pratiqué en tous

temps, mais de magnifiques étoffes de luxe veloutées obtenues par l'application du procédé d'apprêt particulier de M. de Montagnac.

Le chameau est au nombre des animaux qui renouvellent leur pelage l'hiver, ou du moins qui prennent alors du duvet comme vêtement de saison. Ce duvet offre naturellement plus de finesse et un toucher plus soyeux. Il a alors beaucoup d'analogie avec celui du cachemire, fig. 12, fort remarquable par la finesse, la flexibilité, la régularité et le système strié de ses brins, surtout lorsqu'il est épuré. Le cachemire est peut-être la matière la plus souple dont l'industrie dispose, elle a les défauts de ses qualités. Sa souplesse est telle que son emploi sans mélange n'est pas toujours avantageux, et donne alors des étoffes qui ne drapent pas suffisamment. Des motifs de bonne exécution et d'économie se réunissent par conséquent pour n'employer le cachemire qu'à l'état de mélange dans un grand nombre de cas. Le poil de chèvre long, dit d'*angora*, fig. 13, ne diffère en apparence du précédent que par la grosseur des brins et un espacement plus sensible entre les deux systèmes de stries; sa roideur, la longueur et l'éclat de sa surface le caractériseront d'ailleurs d'une façon suffisante. La belle laine indigène de *Mauchamp*, due au croisement d'un bélier mérinos avec un type accidentel découvert par M. Graux, producteur aussi intelligent que zélé, offre, on le voit fig. 14, pl, 38, une grande analogie avec les brins des deux figures précédentes; elle est douce et soyeuse au toucher comme le cachemire, sa longueur et son *nerf* la rapprochent du poil de chèvre; aussi l'a-t-on nommée *cachemire français*. L'un de nos plus habiles industriels a démontré, par la fabrication avec cette laine d'une série d'articles, qu'elle justifie ce nom. Les efforts faits par M. Graux pour perfectionner et multiplier ce type, et ceux de M. Davin pour démontrer toute sa valeur par les tissus intéressants que la fabrication peut en tirer, finiront peut-être par doter notre pays de troupeaux d'une race non moins estimable que celle des laines longues de la Grande-Bretagne.

Examen des poils des rongeurs et des carnivores. — Les poils de ces animaux qui existent à l'état de nature, ou qui de sauvages sont devenus domestiques et vivent librement, présentent des brins d'une apparence presque identique. Les dentelures résul-

tant des stries transversales sont nettement dessinées; elles sont d'autant plus sensibles que les brins sont plus gros.

Ils fournissent la plus grande partie des substances recherchées pour faire des feutres parfaitement clos, dont l'art de la chapellerie fait son profit. Grossis dans la même proportion que les brins de la laine, et vus dans le même milieu, ces poils n'ont cependant pas tout à fait la même apparence; ils offrent, pour ainsi dire, tous, des parties régulièrement ombrées indiquant des points vides et la présence de l'air dans la ligne médiane. Les figures 2 *bis*, 8 *bis* et 15, pl. 38, donnent des groupes de poils de différents animaux de ce genre où ces caractères sont mis en évidence à un grossissement de deux cents.

Chacun des groupes présente des fibres de diverses finesses prises néanmoins à la même place de l'animal et pouvant, par conséquent, donner une idée de la plus ou moins grande régularité de ses poils.

La figure 15 est un groupe de poils d'une espèce d'écureuil dit *petit-gris*. Il montre plusieurs poils accolés dans l'intérieur d'un même brin, désigné sous le nom de *poil composé* par les physiologistes [1].

Direction des poils. — La direction des poils représentés, et de tous les poils en général, au lieu d'être contournée et d'offrir les ondulations et les vrillements qui caractérisent la laine, suit en général la ligne droite, résultant de leur rigidité, qui est l'un des moyens susceptibles de les distinguer des filaments laineux.

Structure intime des brins. — Lorsque, pour se rendre compte de la constitution intime d'un brin de laine, ou d'un poil, on en fait la section transversale, pour l'observer à un grossissement convenable sous le microscope, il offre tantôt une surface pleine avec une circonférence d'une certaine épaisseur et d'une forme plus ou moins régulière, affectant celle d'un cercle exact, ou d'une espèce d'ellipse, comme les indique la fig. 16, pl. 38, qui donne la coupe d'un brin de laine lavée. Parfois ces sections offrent un canal

1. Pour démontrer la structure de la série nombreuse des poils que nous avons examinés, il faudrait multiplier les figures plus que cet article ne le comporte, mais elles trouvent naturellement leur place dans l'Atlas de l'ouvrage sur les laines que MM. Noblet et Baudry vont incessamment mettre en vente.

médullaire dont la forme est presque toujours un cercle assez parfait, variable seulement par la grandeur du diamètre, comme le montre la figure 16, des coupes de brins de laine du Don.

Les coupes des filaments de la laine de vigogne, fig. 17, affectent la même forme, et ne diffèrent des précédentes que par la grosseur et une légère coloration jaunâtre.

Les sections de poils de chameau, fig. 18, sont des cercles avec de petits picots colorés en jaune, rappelant la constitution intérieure d'une tige verte remplie de matière spongieuse. Cette structure est encore plus nettement accusée dans la section du crin, fig. 19.

Dans les coupes, fig. 20, des poils de rat musqué; fig. 21, du renard, et fig. 22, de l'alpaca, on remarque le canal intérieur parfaitement déterminé et paraissant vide, si on en juge par la teinte noire du cercle central. De plus, ce canal dans les poils du rongeur, fig. 23, par exemple, met la constitution des poils *composés* en évidence par la vue des brins accolés. Quoi qu'il en soit, l'apparence tantôt pleine et tantôt vide de l'intérieur des brins, a probablement déterminé les hypothèses différentes qui ont été données sur leur constitution. Les uns les ont supposés formés d'une série d'espèces d'écailles pleines à emboîtements successifs; les autres les ont considérés comme de véritables tubes tantôt vides et parfois pleins d'une substance analogue à la moelle. Nous croyons cette dernière hypothèse la plus exacte, et attribuons la différence apparente de l'intérieur du brin à l'état dans lequel il se trouve; frais et tendre pris sur le dos de l'animal domestique, le canal médullaire est encore plein de la substance qui l'imprègne, et de là la teinte et l'apparence uniformes; vieilli et desséché au contraire, ou provenant d'un carnivore libre, ne vivant pas à l'état domestique, la circonférence extérieure se concrète, le tube intérieur se vide et la substance naturelle est remplacée par l'air. Il en résulte une différence de pouvoir réfringent entre la substance cornée des parois et son canal médullaire, ce qui explique les anomalies apparentes entre les corps de même origine. Pour nous, toutes espèces de poils ou de laine nous paraissent donc être un tube conique ouvert à sa base et fermé à son sommet, dont le canal intérieur est, ou n'est plus, alimenté par une substance homogène pendant l'excrétion du filament, et que celui-ci s'assimile peu à peu par ses pores;

dans le dernier cas, lorsque la source cesse de l'approvisionner.

Les diverses grandeurs que présentent les coupes de chacun des groupes pratiquées sur des filaments d'une même partie démontrent d'une façon évidente les variations de grosseurs des brins de même origine, et quelle que soit l'homogénéité apparente de leur masse. L'irrégularité des contours provient parfois de la pression indispensable à laquelle il faut soumettre les brins pour en faire des tranches perpendiculaires à leurs troncs. Elle influence surtout la matière jeune, fraîchement coupée et tendre. Parfois aussi cette irrégularité est la conséquence d'un accident de la forme naturelle. Elle disparaît néanmoins presque complétement dans les sections des poils droits et résistants. Pour le crin, par exemple, on obtient les sections nettes de la figure 19.

D'après ce qui a été dit précédemment sur la forme pointue des brins à l'état naturel, on conçoit que les surfaces des sections doivent varier également avec les points par lesquels a passé le plan de la coupe. Enfin la grosseur de la fibre animale ne varie pas toujours régulièrement et ne diminue pas d'une manière continue et uniforme de la base au sommet. Elle est parfois plus renflée dans une partie de sa longueur qu'aux deux extrémités; elle est alors fusiforme. Quelquefois aussi elle est *aplatie* au milieu, etc. Ces variations de formes, qui paraissent d'ailleurs accidentelles, se rencontrent plus souvent dans les poils que dans les laines.

Examen comparatif de l'apparence extérieure et de la structure intime des laines et des poils. — Observées et comparées par groupes, les *fibres animales* offrent des différences et des ressemblances accessoires intéressantes à constater. On peut en quelque sorte les classer toutes, sous le rapport de leur emploi, en deux grandes catégories : la première, comprenant les produits laineux des animaux domestiques de la race ovine et ses dérivés; la seconde, ceux des animaux sauvages ou non apprivoisés, tels que les mammifères carnivores et rongeurs.

Les premiers se distinguent des seconds, comparés à l'état brut et avant qu'ils n'aient été l'objet d'aucune épuration, par la quantité considérable de corps étrangers dont la matière cornée des brins est chargée; par la direction contournée plus ou

moins prononcée de ces brins très-flexibles, et en général par la porosité sensible, la finesse relative de leurs parois, et par leur pouvoir réfringent assez uniforme; enfin par l'absence, ou au moins la très-grande rareté des brins composés, si communs dans les poils et désignés sous les noms de *bifides*, *trifides* ou *multifides*. Les dépouilles des carnivores et des rongeurs diffèrent des précédentes par la quantité presque insignifiante d'enduit gras de la surface, par une direction constamment droite et rigide, par un tube intérieur en général vide, et l'épaisseur relativement épaisse des parois, et par conséquent par une différence du pouvoir réfringent entre le milieu et les bords du brin, déterminant, si nous ne nous trompons, les petits rectangles noirs de la ligne médiane intérieure.

Caractères communs aux poils et aux laines. — La forme conique ou en fuseaux pointus de la racine au sommet des brins de la laine, si bien démontrée par Monge, si facile à constater dans une laine d'agneau, et même dans les mèches des toisons mères presque toujours d'une surface trapézoïdale, ou à peine rectangulaire dans les laines extra-fines, est également celle des poils en général. Cette forme des brins est mise en évidence dans la plupart des groupes, mais surtout en *a b* et *c* des fig. 7, 8 *bis* et 15. Il en est de même des stries transversales cannelées, plus ou moins apparentes, et évidemment communes aux filaments des toisons de la race ovine aussi bien qu'à ceux provenant des carnivores.

Mais quelle que soit l'origine des filaments animaux observés, si on en compare un certain nombre provenant d'un même animal, on constatera des différences de caractères telles entre eux, qu'on les supposerait appartenir à des natures différentes. Les laines les plus fines et les plus perfectionnées contiennent, en effet, des brins gros, rigides, identiques à des poils communs, et dans ceux-ci il se rencontre souvent des brins fins, flexibles et contournés, en tout semblables à ceux de la dépouille du mouton. Une toison d'une qualité intermédiaire, par exemple, présente assez fréquemment des brins offrant ces caractères extrêmes. Ces irrégularités sont plus ou moins sensibles, elles diminuent dans la dépouille d'un même animal à mesure que les toisons s'affinent, par un effet naturel ou artificiel. On les

retrouve néanmoins presque toujours à un certain degré, même dans les plus beaux produits.

Presque toutes les figures des groupes de la laine en donnent des exemples. La laine d'alpaca, par exemple, caractérisée par la finesse, la flexibilité et le contournement de ses brins, montre en *a*, fig. 10, un poil droit, rigide, qui diffère certainement plus, au point de vue de ses propriétés, de ses voisins de même origine que d'un poil quelconque. On retrouve un poil grossier analogue *a* du groupe de la figure 11, dans les poils de la vigogne. Les caractères de ces gros poils dits *jarre* ont plus d'analogie avec les cheveux et les crins, avec les poils de l'ours et du singe, qu'avec un filament offrant des propriétés textiles.

Il se rencontre au contraire quelquefois dans une toison ou une masse de poils de même origine des filaments si fins, si ténus, si flexibles, qu'ils se contournent sur eux-mêmes ou autour des filaments voisins, et offrent l'apparence d'une torsade microscopique, sans ombre sensible. Les brins *b*, *b* des figures 10 et 12 montrent cette disposition dans les poils extra-fins, elle se rencontre plus ou moins dans toutes espèces de fibres. Leur finesse les a fait désigner sous le nom de *duvet*.

Il est si flexible et si ténu, qu'on ne le remarque dans les toisons jarreuses qu'en séparant les fibres jusqu'à la racine.

L'existence des trois sortes de poils dont nous venons de parler est si ordinaire, que l'industrie trie les filaments en conséquence, en rangeant à part la *laine* proprement dite, le *duvet* et le *jarre*. Sauf quelques cas spéciaux, comme dans la toison des chèvres, par exemple, le duvet et la laine sont confondus dans leur emploi, mais les poils jarreux doivent toujours en être rejetés.

Il existe des animaux qui, à l'état naturel, n'ont en quelque sorte que du jarre, et d'autres qui n'ont que du duvet, suivant les climats et les besoins de leur existence, et quelquefois le même animal porte alternativement du poil et du duvet, comme nous l'avons vu pour le chameau. Dans les climats brûlants, les animaux sont dépourvus de toison, ceux des contrées glaciales fournissent, au contraire, les fourrures les plus recherchées; l'éléphant, le rhinocéros, l'hippopotame et les autres animaux de la zone torride n'ont presque pas de poils; ceux des animaux des plus hautes montagnes des régions septentrionales sont au

contraire fins et touffus. Ils conservent encore ces caractères sur les plateaux élevés des Cordillères, patrie presque exclusive du lama et de l'alpaca.

La finesse et la quantité du poil ou du duvet augmentent, en général, à mesure qu'on avance vers les climats du pôle ; le duvet le plus estimé des oies et des oiseaux du Nord, dont nous donnons la constitution merveilleuse, fig. 14, et sur laquelle nous reviendrons, est fourni par les environs du Spitzberg. Cette modification des caractères des poils est encore sensible pour des contrées relativement assez rapprochées ; presque toute l'Europe fournit des poils de lièvre à la chapellerie, mais les plus estimés sont ceux de la Russie ; ceux d'Espagne au contraire sont les plus communs. Aussi l'industrie recherche-t-elle de préférence les matières des pays du Nord comme les plus feutrables et les plus propres aux vêtements les plus chauds.

Le pelage même des animaux fournit des exemples dignes d'être pris en considération par l'art vestimentaire. Dans les climats les plus septentrionaux, le poil des animaux est entièrement blanc comme celui des ours de la mer Glaciale. Dans les contrées où la température change, le poil blanchit à l'approche de la saison rigoureuse. Le renard, la belette, le lièvre, etc., offrent la preuve de ce fait remarquable. Les duvets, qui forment la partie la moins conductrice de la chaleur, sont en général incolores, ou très-légèrement nuancés.

Le blanc, généralement employé pour vêtement d'été, comme bien moins pénétrable aux rayons solaires que les couleurs, devrait par conséquent être également recherché pour l'hiver, abstraction faite de toute autre considération que de la différence de sa conductibilité calorifique. Rappelons, en effet, que les physiciens ont constaté que la perméabilité des corps au calorique est influencée par leur coloration. Si on enveloppe une surface chaude d'un tissu blanc, elle se refroidira moins vite que si le tissu, toutes choses égales d'ailleurs, était de couleur. Dans l'expérience contraire, un corps froid enveloppé de la même étoffe blanche, exposé à la même chaleur, s'échauffera moins vite que si l'enveloppe était teinte. Ces résultats sont la conséquence des propriétés émissives et absorbantes des corps, le temps nécessaire à la déperdition ou au passage de la chaleur étant proportionnel à celui de l'absorption. Cette faculté varie

avec les couleurs dans l'ordre suivant : blanc, jaune, rouge orangé, brun foncé, noir. C'est-à-dire que le blanc conserve le plus longtemps la chaleur du corps chaud qu'il enveloppe, ou le préserve le plus longtemps contre la chaleur extérieure. Le noir, au contraire, est la couleur qui la laisse échapper et l'absorbe le plus rapidement. Si ces faits n'étaient incontestables et expérimentalement prouvés, nous rappellerions à l'appui l'observation de tous les jours sur la faible conductibilité de la laine blanche, qui la rend propre à conserver la glace, et l'excellent effet de la neige sur la terre lorsqu'elle précède la gelée. Elle lui sert d'écran protecteur dans ce cas contre le refroidissement brusque et les accidents qui pourraient en résulter pendant la germination de la semence.

Si on n'examinait l'usage des vêtements qu'au point de vue de leur propriété calorifique, on serait par conséquent amené à les avoir également blancs presque en toutes saisons. Seulement ils devraient être fourrés ou pelucheux, et envelopper le corps assez intimement pendant l'hiver, tandis que la forme ample d'une étoffe rase, comme le burnous arabe, convient mieux l'été. Mais la pluie, la boue, la fumée et la mode surtout des pays civilisés en ordonneraient autrement, lors même que les avantages du blanc pour tous les cas seraient à l'abri de toute objection. Or il n'en est pas tout à fait ainsi : les propriétés calorifiques des vêtements blancs avaient été controversées, comme le fait remarquer M. le docteur Michel Lévy dans son *Traité d'hygiène*.

« Rumfort et sir W. Hom sont arrivés à conseiller des vêtements noirs dans les pays chauds. Mais les expériences du docteur Stark concilient heureusement les faits. En faisant remarquer que, si le nègre de la couleur duquel on avait argué absorbe plus de calorique par sa surface, il le rayonne dans la même proportion; de là une sorte de circulation du calorique dans sa peau, dont la transpiration insensible augmente et rend le corps plus frais. »

Les anomalies apparentes des faits naturels disparaissent ainsi peu à peu devant l'observation de plus en plus attentive de la science. Ces faits, appréciés avec précision, deviennent la plupart des fois le point de départ des progrès industriels. La laine, par exemple, n'est qu'une espèce de bourre animale, un poil naturel perfectionné par l'art agricole pour le faire passer de l'état de

jarre inemployable à celui de duvet propre à tous les usages textiles. C'est en s'inspirant des conditions naturelles sous l'influence desquelles la toison se modifie, ou acquiert telle ou telle propriété, qu'on parvient à la transformer à volonté au profit des arts. La constitution normale des poils ne pouvant être comprise que par la connaissance de l'organe producteur de toutes espèces de filament animal, nous ne pouvons nous dispenser d'en dire quelques mots, qui intéressent directement le sujet qui nous occupe.

Organe producteur et mode de développement des fibres animales. — Nous donnons la description de l'organe producteur du poil d'après les physiologistes, et surtout d'après MM. Ducrotoy, de Blainville, Bichat, Winslow, Haller, etc., et afin de rendre notre description aussi claire que possible et d'en tirer les conséquences spéciales que nous avons en vue, nous y joignons des dessins de cet organe, empruntés à un physiologiste allemand, M. Lorda. La figure 23 est une vue amplifiée de l'organisme sous-cutané, depuis l'origine des poils jusqu'à leur sortie de la peau, et la figure 24 est un de ces organes isolés sur une échelle plus grande encore, pour en mieux faire saisir tous les détails intérieurs.

l, *l* indiquent les poils à leur sortie de la peau *p*.

Ces filaments sont le résultat de la sécrétion d'une matière pulpeuse *e* contenue dans les organes *B*, *B*, qui ont la forme d'une espèce d'oignon ou bulbe. Ces bulbes sont situés plus ou moins profondément sous la peau, parfois même directement sous le derme, et d'une façon oblique par rapport à la direction du poil. Chacun d'eux est formé : 1° d'une première enveloppe extérieure fibreuse *a*, qui lui donne sa forme, et qui est percée à ses deux extrémités ; par l'un de ses orifices toujours internes *f*, arrivent les vaisseaux et les nerfs nécessaires à la fonction, qui doivent animer ou sécréter, et par l'ouverture externe, quelquefois prolongée par un petit canal, sort le produit de l'organe ; 2° d'une seconde enveloppe vasculaire *b*, formée par les ramifications plus ou moins nombreuses et serrées des vaisseaux artériels et veineux qui sont entrés par l'orifice postérieur de la première enveloppe; enfin d'une troisième partie *c*, quelquefois encore disposée en membrane, et composée par le système vei-

neux qui a traversé les autres enveloppes pour entrer dans le bulbe. Voici d'ailleurs comment s'exprime Winslow sur le mécanisme producteur du poil et de ses fonctions :

« La racine ou le bulbe est revêtu d'une membrane plus ou moins blanche, très-forte et comme élastique. Elle est attachée au corps graisseux ou au corps de la peau, ou à l'un et à l'autre, par quantité de vaisseaux extrêmement déliés et de filets nerveux d'une grande finesse. En dedans, la racine paraît comme une espèce de glu, dont il avance quelques filaments d'une extrême finesse vers la petite extrémité de l'oignon, où ces filaments s'unissent et forment la tige qui passe par le petit bout de l'oignon et va à la peau. Dans ce passage, la membrane de l'oignon s'allonge en manière de tuyau fort court qui embrasse étroitement la tige, et s'y unit tout à fait; ensuite la tige du poil s'avance vers la surface de la peau, et perce d'abord le fond d'une petite fossette entre les mamelons, ou même d'un mamelon particulier, dans laquelle fossette elle rencontre l'épiderme, qui paraît là se renverser autour d'elle et s'y unir entièrement[1]. »

La figure 24 démontre bien le petit mamelon *o*, *p* dont il est question dans cette description, et le point où le brin se revêtirait d'une gaîne cornée extérieure, qui ne serait autre chose qu'une partie de l'épiderme lui-même, selon Winslow, et qui, selon Blainville et d'autres, serait formée par la sécrétion de la membrane interne vasculaire du bulbe B. Quelle que soit l'hypothèse qu'on adopte, il n'en reste pas moins prouvé que le filament se compose de deux parties : d'une partie centrale molle et d'une enveloppe d'une matière différente, toujours plus dure.

La forme du bulbe et son action déterminées conformément à ces descriptions, on peut expliquer mécaniquement, ce nous semble, la transformation des globules de la matière pulpeuse intérieure en filets allongés ou stries longitudinales du brin, par le passage de cette substance plus ou moins sirupeuse, de la poche ovoïde ou cylindrique B, dans un tube cylindrioïde où elle est pressée par la membrane élastique ou paroi du bulbe. La formation de ces filets longitudinaux a lieu par couches succes-

1. Winslow, *Traité des téguments*, n° 96 et suiv.

sives qui se superposent, et de là les stries transversales, conséquences de la pression sur la matière fluide à son passage par l'orifice; les bords dentelés ou frangés de ces stries résultent évidemment de la courbure de la peau, qui dispose ces orifices en entonnoirs. L'emboîtement successif des couches qui détermine la figure d'une série de dés à coudre entrés les uns dans les autres, et la forme conique des brins paraissent les conséquences de la formation du jet par la pression sur le bulbe. Les saillies des stries peuvent, par conséquent, disparaître par une action mécanique, ainsi que cela a, en effet, lieu dans la laine usée, où on les retrouve à peine avec les plus forts grossissements, tandis que les filets longitudinaux, composés de la matière elle-même, se manifestent toujours.

La distance entre le bulbe et la peau, et sa position par rapport au point de sortie de la tige ou poil, expliquent sa plus ou moins grande adhérence à la peau; si on considère, par exemple, le bulbe *i* et son poil *k*, par rapport au système *m*, *n*, il est évident qu'il faudra faire moins d'efforts pour arracher le premier, moins profondément implanté que le second. C'est ce qui explique l'adhérence à peine sensible de certains poils fins, tels que les duvets qui naissent en quelque sorte en contact de la peau, et ont le bulbe et la tige dans la même direction. L'enchevêtrement des tiges de la plupart des autres poils et la profondeur à laquelle se trouve leur racine nécessitent plus d'efforts pour l'enlever, et occasionnent parfois certains désordres causés par leur entrelacement.

Recherches des causes qui modifient les caractères des poils. — L'organe producteur des poils restant le même quant à son principe, et ne variant en quelque sorte que de volume, et par l'épaisseur tant des parois latérales que de celles de la peau, les différents caractères constatés précédemment, tels que la rigidité des uns et la flexibilité des autres, leur transparence ou opacité plus ou moins régulière, leur direction rectiligne ou curviligne, la coloration, ne peuvent donc être le résultat que de la nature ou composition des substances sécrétées, et surtout des rapports entre les quantités qui constituent la partie centrale et son enveloppe, c'est-à-dire entre la matière pulpeuse intérieure et la matière cornée extérieure. Lorsque celle-ci domine, le produit ac-

quiert une résistance qui lui donne la rigidité que l'on remarque aussi bien dans les poils les plus fins que dans les plus gros. Si c'est, au contraire, la première, la pulpe qui abonde, le brin peut devenir tellement flexible, qu'il s'infléchit et se vrille entre ses voisins, qui le soutiennent naturellement. Il croît d'une façon analogue à certains végétaux, et se contourne comme un véritable volubilis. Le tube normal de la laine paraît toujours contenir la matière intérieure, celui des poils est en général vide, comme l'indique la différence de la propriété réfringente des brins de ces deux sources. Selon nous, ceux de la première, plus abondamment alimentés, resteraient pleins pendant leur excrétion, tandis que ceux des animaux sauvages, moins bien fournis, formeraient un jet conique creux[1]. Quant à la finesse des différents poils, elle est en rapport avec celle de la peau et de l'épiderme traversés par le brin. On peut donc, si nous ne nous trompons, expliquer les modifications des toisons des animaux domestiques et des poils des animaux vivant en liberté : elle est le résultat de toutes les conditions d'existence des deux espèces.

Le passage du poil, dit *Jarre*, encore si abondant dans la laine commune, à l'état de belle laine fine qui en conserve à peine les traces, témoigne de la puissance des causes modificatives, d'ailleurs très-connues et très-appliquées aujourd'hui. Elles résident dans la nourriture, le climat, la locomotion, etc.

Entre autres, il en est une extrêmement remarquable qui influe sur les caractères et l'abondance des poils et des duvets. « Lorsque les excitants sont consommés dans les mouvements ou dans les sensations, c'est au détriment des poils et du duvet qui, en ce cas, restent courts et grêles, par défaut de nutrition et de vie (le poil des chevaux arabes et de tous les chevaux soumis à un exercice continu, le duvet de l'eider ou du gerfaut).

« Lorsque les excitants sont accumulés par défaut de sensa-

1 Nous livrons ces hypothèses sans aucune prétention aux naturalistes compétents. Nous n'aurions peut-être osé les produire, si nous n'avions cru entrevoir une analogie remarquable entre les causes mécaniques qui déterminent la forme des poils et celles des corps, qui s'écoulent, et si nous n'avions été frappé de ces similitudes à la lecture du remarquable Mémoire *Sur l'écoulement des corps solides* de M. H. Tresca, inséré dans le numéro 21 du tome VI des *Annales du Conservatoire impérial des arts et métiers*.

tions ou de mouvements accoutumés, les poils et le duvet en reçoivent un accroissement spécial (le poil des animaux domestiques privés d'exercice et de pansement, tous les duvets pendant l'hiver et sous les latitudes polaires, la naissance du duvet sur les ruminants, sous ces latitudes).

« Entre les tropiques, l'excitant tactile est consommé dans les sensations infiniment plus nombreuses que près des pôles, ou bien il est entraîné par la transpiration; tandis que, sous ces derniers climats, cet excitant, que rien ne dégage, se condense à la surface et y détermine la formation du duvet[1]. »

Cette influence de l'action de la orce motrice animale sur la production du système pileux ne fournit-elle pas une preuve curieuse de la corrélation entre les causes qui produisent de la chaleur et du mouvement dont la science s'est tant occupée dans ces derniers temps ?

Le cadre que nous nous sommes tracé, aussi bien que notre manque d'autorité en pareille matière, ne nous permettent pas de nous y étendre davantage, malgré tout l'intérêt qu'elle présente. Pour revenir directement à notre sujet, nous nous résumerons en disant qu'au point de vue de la transformation industrielle, il n'y a vraiment entre les poils et les laines utilisés dans les arts, de différence que dans la flexibilité, et par suite dans le plus ou moins de vrillement; lors donc que l'on voudra employer les deux sortes de substances à des produits similaires, il faudra au préalable leur donner artificiellement les mêmes caractères. Si, par exemple, on veut donner aux poils la propriété feutrante de la laine, il sera nécessaire de les modifier de façon à faire acquérir à ses brins la possibilité de s'enchevêtrer d'une façon analogue à ceux de la laine. L'opération spéciale du *sécrétage*, sur laquelle nous revenons plus loin, ne doit donc avoir d'autre but que d'obtenir cette espèce de vrillement que certaine laine possède naturellement.

Variation des finesses des brins avec l'épaisseur de la peau. — L'orifice par lequel le poil apparaît remplit les fonctions d'une espèce de filière percée dans une membrane; ses bords se relèvent plus ou moins en capsule formée par le soulèvement de l'épiderme,

1. Mémoire sur les poils, par M. C. Girou de Buzaringues. *Répertoire général d'anatomie et clinique chirurgicale*, 1821.

comme l'indique la figure 24. La grandeur de ce passage augmente nécessairement avec l'épaisseur de la membrane ou de la peau qui en forme les parois. Cette épaisseur varie avec les espèces animales et avec les races; les rongeurs, par exemple, ont la peau bien plus fine que les carnassiers. Elle varie également avec la taille des individus d'une même race, et même avec les diverses parties du corps. De là l'échelle étendue de finesses dans une même partie de poils ou de laine, et de là aussi les efforts constants, lorsqu'il s'agit de la production des laines fines et courtes, pour perfectionner la petite race dans les conditions les mieux étudiées pour que la finesse ne soit pas obtenue au détriment de la ténacité, de la perfection, dont l'homogénéité du produit pour chaque genre, petit ou grand, est un des indices les plus certains. Mais, quel que soit l'état de perfection d'une toison, il ne sera jamais possible d'arriver à une homogénéité parfaite dans les qualités provenant des diverses parties du corps, précisément à cause de la différence d'épaisseur de la peau. Or les parties les plus épaisses de la peau du mouton sont les *genoux*, le *front*, la *queue*, la *croupe*, le *dessus du cou*, les *cuisses*, et enfin le *dos*; ce sont aussi celles dont la laine est la moins fine. Certaines d'entre elles, telles que les genoux, ne donnent souvent que du jarre. Les mèches d'une toison seraient classées par qualité, suivant les désignations qui précèdent, si certaines parties n'étaient parfois détériorées, soit par le frottement contre la litière et autres causes accidentelles. On tient compte de cet amoindrissement de valeur en faisant le triage.

En raison des observations qui précèdent, le trieur ou le laveur de laine en fait ordinairement six catégories; les flancs et les côtés de l'épaule fournissent la première ou la meilleure; le chignon et l'arête supérieure du dos, le bas des hanches donnent la seconde; la troisième provient des jarrets jusqu'aux hanches et aux genoux; la quatrième est placée sous le cou; la cinquième à la partie postérieure et supérieure de la queue et la naissance du dos, et la sixième forme la *pailleuse,* récoltée sur la tête, celle des parties sous-ventrales et entre les cuisses jusqu'aux fesses. Chacune des parties peut être formée par un ensemble de brins de qualités variables, surtout dans les toisons ordinaires; l'homogénéité parfaite est rare, même pour les laines extra-fines.

Les qualités relatives des brins, suivant les places qu'ils occupent sur

la peau, varient avec les espèces d'animaux.—La classification adoptée dans le triage des toisons n'est pas la même pour toutes les dépouilles de ce genre, les valeurs relatives changent avec le mode d'existence des animaux. La différence entre les qualités d'une même peau est plus grande encore pour les poils que pour les laines. Pour les filaments pileux qui, par leur caractère, tiennent en quelque sorte le milieu entre les laines et les poils proprement dits, tels que ceux du castor, de la loutre, du rat musqué, du rat gandin, dits *poils de fantaisie* dans la chapellerie, et que nous appellerons des poils gras, le classement ne diffère pas trop de celui adopté pour la race ovine. Le ventre et les côtés de ces peaux produisent, en effet, les plus belles qualités ; celles du dos sont beaucoup moins belles de finesse et de nuance, tandis que, pour le lièvre et le lapin, c'est la partie du dos qui donne la plus estimée. Sa valeur est souvent triple de celle du ventre; lorsque celle-ci vaut de 11 à 12 francs le kilogramme, la première atteint de 38 à 40 ; le rapport est inverse pour les poils dits de fantaisie, provenant d'animaux amphibies, c'est-à-dire que le poil du ventre vaut ici trois fois le prix de celui du dos.

Ce que nous avons dit précédemment des causes qui influent sur les caractères des poils peut expliquer ces différences; les animaux dont la peau du ventre est constamment protégée par l'eau, doivent avoir l'épiderme le plus fin ; mais, nous le répétons, il n'y a rien d'absolu dans cette classification, chacune des parties peut être formée par un ensemble de brins de qualités variables, surtout dans les toisons ordinaires. Les diamètres des brins peuvent varier du simple au double, suivant les parties du corps, et pour une même place assez circonscrite, on constate parfois des variations d'un tiers environ, c'est-à-dire qu'il y a souvent une différence de 33 p. 100 dans la finesse de deux filaments contigus. En divisant les fibres des planches 37 et 38, par deux cents, on aura déjà pu s'en convaincre. Nous réunissons, en outre, dans le tableau suivant, les finesses des principales laines du commerce, que nous avons mesurées avec le plus grand soin sous le microscope, et les grosseurs extrêmes des brins dégraissés. Quant aux finesses intermédiaires, ne pouvant savoir si ce sont des moyennes exactes, nous appelons épaisseur des brins de la masse la dimension de ceux qui paraissent dominer dans la partie. Le nombre des laines est tellement considérable et

elles sont si variées que nous donnons le tableau plutôt à titre de renseignement que comme une classification complète de leurs diverses finesses.

DÉSIGNATION DES LAINES.	ÉPAISSEUR * DE LA MASSE en centi-millimètres.	ÉPAISSEUR MINIMA en centi-millimètres.	ÉPAISSEUR MAXIMA en centi-millimètres.	LONGUEUR en millimètres.
	mm.	mm.	mm.	
Kachmyr (trié)	0,0132	0,0117	0,0200	30–40
Australie	0,0132–0,0155	0,0132	0,0200	80
—	0,0145–0,0200	0,0132	0,0200	30–50
— (Port-Philippe)	0,0150	0,0117	0,0235	100–120
—	0,0150	0,0132	0,0176	90–100
Allemagne	0,0154–0,0176	0,0132	0,0220	60
France (Bourgogne)	0,0154–0,0176	0,0132	0,0264	70–90
Australie	0,0175	0,0143	0,0220	110
France	0,0175–0,0220	0,0132	0,0308	90
—	0,0176	0,0132	0,0264	40
Amérique (Buénos-Ayres)	0,0176	0,0154	0,0264	60–80
Australie	0,0176–0,0200	0,0175	0,0308	30–50
—	0,0198–0,0220	0,0200	0,0308	120
Guanaco du Jardin d'acclimatation	0,0200	0,0175	0,0220	80–90
Alpaca croisé avec *lama* femelle du Jardin d'acclimatation	0,0200	0,0132	0,0310	90–100
— jars	0,0880	»	»	»
Australie	0,0200–0,0220	0,0175	0,0242	110
—	0,0220	0,0175	0,0440	20–50
France (Bourgogne)	0,0220	0,0175	0,0352	90
— (Champagne)	0,0220	0,0187	0,0374	80
— (Mauchamp)	0,0220	0,0154	0,0308	70–85
Australie (Sydney)	0,0220	0,0132	0,0264	80–120
Russie (Don)	0,0220	0,0175	0,0264	130
France (Champagne)	0,0235	0,0200	0,0260	80–100
Afrique (laine peignée d'Oran)	0,0235	0,0300	0,0430	100–120
Poil de chèvre	0,0260	0,0165	0,0300	100–120
Irlande (laine lustrée)	0,0260	0,0260	0,0500	180–240
Laine usée	0,0264	0,0220	0,0310	5–15
— anglaise	0,0265	0,0265	0,0330	140
France (Lozère)	0,0265	0,0220	0,0485	80–100
— (laine dite de pays)	0,0300	0,0200	0,0330	100–110
Angleterre (Yorkshire 1re qualité)	0,0308	0,0264	0,0440	200
Mélange de laines longues anglaises et de china-grass	0,0325	0,0300	0,0400	250
Angleterre (Yorkshire 2e qualité)	0,0330	0,0200	0,0525	200
France (pays de Caux)	0,0330	0,0210	0,0500	180–220
Russie	0,0330	0,0260	0,0760	150
Angleterre (Kent)	0,0352	0,0330	0,0625	180–220
— (Leicestershire)	0,0360	0,0280	0,0430	150–180
Hollande	0,0360	0,0300	0,0430	250–300
Autriche (Gallicie)	0,0600	0,0485	0,1055	250–300

* NOTA. — L'unité de mesure pour les épaisseurs est la centième partie du millimètre = 0m,00001, l'unité pour les longueurs est le millimètre.

On connaît dans le commerce des laines d'Allemagne ou laine courte jusqu'à sept catégories, basées sur leurs finesses. D'après M. Schmidt de Hottenheim, les finesses correspondantes aux différentes classes seraient les suivantes, d'après l'ordre de leurs qualités et valeurs.

DÉSIGNATION DES CLASSES.		NOMBRE DE BRINS par millimètre de surface.	DÉSIGNATION DES FINESSES EXTRÊMES par surface de millimètre.
			mm. mm.
Laine.	Électorale superfine..	60	0,01663 à 0,01778
	Électorale fine......	53	0,01778 à 0,02085
I.	Prime.............	47	0,02185 à 0,02177
II.	Prime.............	42	0,02268 à 0,02514
	Seconde...........	39	0,02514 à 0,02667
	Troisième..........	33	0,02740 à 0,03326
	Quatrième.........	28	0,03556 à 0,03975

Rapport entre les qualités et les vrillements des brins. — Nous avons déjà établi cette particularité si remarquable du vrillement des laines. Si nous avons bien fait saisir ses causes, on comprendra que ce caractère sera d'autant plus prononcé, et la disposition des petites spires d'autant plus régulière, et en plus grand nombre par unité de longueur, que le filament laineux sera plus fin. Ce fait se réalise au point qu'on a pu établir une corrélation d'une assez grande précision entre le nombre de petits vrillements ou le *frisé* par unité, et les finesses et qualités des brins auxquels ils appartiennent. Si on classe toutes les variétés de ces sortes, comme l'ont fait les anciens propriétaires du célèbre troupeau de Naz, MM. Perrault de Jotemps, Fabry et Giraud (de l'Ain), en quatre grandes catégories en laine de *haute finesse*, de *belle finesse*, de *finesse médiocre*, et de *finesse inférieure*, on arrive aux relations suivantes, contestées par ces habiles producteurs.

	LONGUEUR DES BRINS en centimètres.	ÉPAISSEUR EN FRACTIONS de millimètre.	NOMBRE DE SPIRES par longueur.	NOMBRE DE SPIRES au centimètre.
	m.	m. m.		m. m.
1re Haute finesse....	0,056	0,013 à 0,02	56 à 75	10,00 à 13,57
2e Belle finesse.....	0,06	0,02 à 0,025	48 à 52	8 à 8,66
3e Finesse médiocre.	0,08	0,025 à 0,0313	44 à 48	5,5 à 6,00
4e Finesse inférieure.	0,08	0,031 à 0,05	40 à 46	5,00 à 5,77

Il est à remarquer que la différence entre les rapports des finesses et le nombre des vrillements ne varie pas d'après la même proportion; tandis que le rapport des finesses entre la première et quatrième qualité est d'un peu plus de 1 : 4; celui du nombre des vrillements par unité de longueur dépasse légèrement le rapport de 1 : 2.

Les éleveurs allemands vont plus loin dans cette classification, puisqu'ils établissent les six catégories que nous avons indiquées précédemment. M. Schmidt donne leur vrillement sur un diagramme d'une hauteur de 0m,0623, que nous représentons fig. 25. Chacune des classes est représentée à sa longueur naturelle, avec le nombre le plus élevé de ses vrillements vus dans leur plus grande régularité.

Opérations préparatoires du feutrage et du foulage. — En principe et d'une manière absolue, les poils, les laines et les duvets animaux mis en évidence dans les figures des planches et présentant les aspérités plus ou moins sensibles à leur surface sont susceptibles de se lier et de former corps lorsqu'on le soumet dans un milieu convenable à une action mécanique susceptible de les rapprocher et de les presser dans tous les sens. Mais pour obtenir le maximum d'effet et la régularité désirable dans les opérations pratiques, il est nécessaire de faire subir certaines préparations variables avec l'origine et la nature des matières. Pour les filaments ou brins des laines en général, naturellement vrillés, les opérations préparatoires se bornent à des épurations et à la transformation de la masse des fibres en nappe régulière, c'est-à-dire à la confection d'une surface uniforme au moyen du cardage. Les poils droits sans vrillements sensibles ne feutrent régu-

lièrement bien, en général, que lorsqu'on a imprégné leurs pointes ou extrémités sur environ les deux tiers de longueur d'un liquide chimique. Cette opération pratiquée à la brosse sur les peaux en poils et, par conséquent, avant la coupe de ceux-ci, a été désignée sous le nom de *secrétage*, parce que la composition du liquide le plus efficace était gardée secrète à l'origine de son emploi, et peut-être aussi parce qu'on ne s'est jamais expliqué le rôle exact de cette opération.

Pendant longtemps, jusque vers 1750, la préparation des poils, pour les prédisposer au feutrage, consistait dans une espèce de lubréfaction avec un liquide qu'on nommait la *tisane des chapeliers*. C'était une décoction ou le résultat de la macération, suivie d'une ébullition de certaines plantes styptiques, astringentes, telles que les racines de la grande ortie, la patience, la bardane, et surtout de la grande consoude; on y ajoutait parfois de la racine de guimauve ou autres mucilagineuses, sans doute pour mitiger, au besoin, l'effet de contraction auquel les premières paraissaient destinées. Un habile fabricant de chapeaux, M. Guichardière, membre du conseil général des manufactures, dans un opuscule publié en 1824, dit avoir essayé la composition ci-dessus; les résultats obtenus par lui méritent d'être signalés, ils expliqueront peut-être le motif réel du délaissement de ce procédé.

« J'ai additionné, dit-il, la décoction des plantes styptiques et mucilagineuses, qui, je crois, formaient la tisane que les chapeliers employaient avant la découverte du secrétage par le nitrate de mercure; comme eux, j'ai touché les poils des deux tiers de leur longueur, et par ce moyen, d'après la comparaison, j'obtiens les mêmes résultats. Mais je dois dire que ce système de fabrication est plus pénible que le procédé ordinaire, mais aussi il donne un grand avantage à employer le poil commun du ventre de lièvre, qui ne sert ordinairement que de très-mauvais chapeaux communs, et en mélangeant avec le poil de chèvres d'Abyssinie et celui du lapin, etc. » Suivent des chiffres sur les avantages économiques résultant de l'emploi convenable de certaines parties de poils qui acquièrent par cette préparation végétale des propriétés feutrantes plus avantageuses que par l'usage des sels mercuriels. Mais, malheureusement, le travail est plus laborieux, comme le fait remarquer M. Guichardière, c'est-à-dire

que l'effet est moins actif par les décoctions de racines que par les sels minéraux.

Quoi qu'il en soit, il est évident que les plantes astringentes constituent un moyen de préparation au feutrage, que l'effet produit consiste dans la contraction du poil sur la partie de la longueur sur laquelle on l'applique, qu'il en résulte, par conséquent, une différence de concrétion entre la base ou la racine non préparée et le sommet du brin. De là, dans l'opération ultérieure du feutrage, c'est-à-dire, dans le mouvement et le rapprochement des fibres par les frottements continuels sur leur substance ramollie, une tendance d'autant plus grande de la pointe à se recourber et à se vriller qu'elle est naturellement plus fine et plus volubile que le reste de la tige. L'opération se pratique, par conséquent, sur une masse de poils plus ou moins fins dont les extrémités les plus fines affectent la forme de ressorts à boudins microscopiques. On cherche à les prédisposer au travail, comme nous le démontrons plus loin, de manière à ce que leur direction soit autant que possible opposée, et que la partie en pointe de l'un vienne s'unir à la base de l'autre, et ainsi de suite, de proche en proche sur toute l'étendue de l'épaisseur de la surface.

Les propriétés des dissolutions végétales employées et les résultats précités ne peuvent laisser aucun doute, selon nous, sur le rôle de la préparation au feutrage, ultérieurement désigné sous le nom de secrétage. Malheureusement, répétons-le, l'action n'est pas assez active, assez prompte, surtout en présence de celle qu'on lui a préférée, même au détriment de certains avantages signalés plus haut et à celui de la santé de ceux qui l'emploient. »

Secrétage. — Les recettes de la composition actuellement employée varient quelque peu dans leurs proportions et l'addition de quelques éléments accessoires, mais elle repose toujours sur l'usage du nitrate de mercure ; voici d'abord les quelques formules les plus usitées :

On dissout huit parties de mercure dans :

Soixante-quatre parties d'acide azotique (acide nitrique ou eau-forte), on y ajoute :

Quatre parties d'arsenic blanc et deux à trois parties de su-

blimé corrosif, et on étend le tout de trois fois son volume d'eau; ou encore, d'après Robiquet :

Acide nitrique	500 grammes.
Mercure.	32 —

Eau de moitié à deux tiers, suivant la concentration de l'acide. Quelquefois on emploie sept parties de mercure qu'on fait dissoudre à chaud dans vingt-cinq parties d'acide sulfurique, et on étend ensuite la quantité d'eau.

A la suite d'un concours ouvert par la *Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale*, en 1810, dans le but de faire établir la théorie du secrétage et de faire rechercher un moyen aussi efficace, mais moins nuisible à la santé que le nitrate de mercure, elle accorda, en 1815, non le prix qu'elle avait proposé et ajourné à plusieurs reprises, mais une médaille d'or, à MM. *Malard et Défossés*, pour un procédé qui consistait dans le secrétage, opéré à la manière ordinaire par le liquide suivant :

250 grammes de soude brute, dite d'Alicante, on ajoute 125 grammes de chaux vive, éteinte en la plongeant dans l'eau avant d'opérer le mélange et filtrée après avoir mis assez d'eau pour que la liqueur marque 15 degrés à l'aréomètre d'Assier-Péricat, la liqueur obtenue donnant de 19 à 30 à l'alcalimètre de Pécroisilles. Ce liquide doit renfermer, comme on le voit, de la soude et de la chaux caustique (chaux sodée).

Un rapport, fait par une commission dont M. Bréant était l'organe, et inséré page 197, dix-septième année du *Bulletin de la Société d'encouragement*, prouve que, si le procédé n'a pas rempli toutes les conditions imposées par le programme, il a cependant donné des résultats satisfaisants, et avait fait faire un pas sérieux à la question. Le rapport est, en effet, terminé par les remarques suivantes :

« Après avoir comparé attentivement les résultats contradictoires des expériences qu'il a fait répéter plusieurs fois, votre comité est demeuré convaincu :

« 1° Que par le procédé Malard et Défossés on parvient à secréter les poils au point de les rendre propres à faire d'excellents feutres, mais que ce procédé ne communique pas aux poils toute l'énergie feutrante que leur donne le nitrate de mercure;

« 2° Que le succès de ce procédé tient à des circonstances

tellement délicates, qu'il est difficile de pouvoir en répondre constamment.

« D'après cet exposé, messieurs, votre comité doit déclarer que les conditions du programme ne lui paraissent pas remplies, et que le prix n'est pas gagné ; mais il serait injuste s'il ne reconnaissait pas que ceux qui ont autant approché du but méritent un encouragement des plus honorables. » La Société a, en conséquence, accordé *une médaille d'or* aux auteurs de ce procédé. (Septembre 1818.)

Beaucoup d'autres recettes ont été mises en avant, mais sans intérêt pour le moment.

Quel que soit le liquide employé, le mode d'application reste invariable, il a toujours lieu sur les poils avant leur enlevage de la peau après les avoir baguettés, époussetés, épurés et éjarrés. On trempe alors une brosse dans le liquide secréteur, et on en frotte rapidement la surface des poils jusqu'à ce qu'ils paraissent imbibés de la liqueur sur les deux tiers environ de leur longueur, à partir de la pointe; leurs pieds restent par conséquent intacts. Ainsi préparées, on réunit les peaux par paires, poils contre poils, et on les porte à une étuve où on les sèche *le plus rapidement possible*. Les plus anciens auteurs qui se sont occupés de la matière, Peuchet, Rolland de la Platière, Guichardière, etc., et les praticiens les plus expérimentés, insistent également sur la nécessité de ce séchage rapide, en saisissant, en quelque sorte, la matière, remarquons-le en passant pour nous servir du fait plus tard.

Après le séchage du poil on le coupe; généralement, il est plus facilement feutrable alors que si on l'arrachait. Une fois séparé de la peau on le soumet à l'action de l'arçon, qu'on fait vibrer dans la masse formée par la quantité nécessaire à un chapeau. Les brins sont soulevés par l'agitation de la corde et retombent dans toutes les directions; ce n'est qu'après ce battage que les filaments sont soumis au feutrage. Sans nous arrêter aux moyens par lesquels cette opération se pratique, il est nécessaire de nous fixer un instant sur les préparations précédentes, et surtout sur le secrétage, attendu qu'on a déjà compris que l'arçonnage a le double but de restituer aux poils leur élasticité et de les disposer dans la masse de manière à ce que les pointes et les bases des tiges se présentent, autant que possible, en sens inverse. Quoique

le secrétage soit appliqué aux poils en général, les praticiens ont cependant remarqué que certains d'entre eux pouvaient parfois s'en passer, et n'en sont pas moins feutrables. Le *castor gras*, c'est-à-dire, provenant de peaux de castor qui ont été portées par les sauvages et certains poils vieux, en magasin depuis une année au moins, sont dans ce cas. Pour se faire une idée et hasarder une hypothèse sur la cause de ce phénomène, revenons à l'examen de la propriété qui paraît dominer dans les liquides qui préparent plus ou moins la substance au feutrage. Tous sont évidemment caractérisés par la *propriété contractante* dont ils jouissent. Les plantes styptiques, employées autrefois, le gaz acide nitreux du secrétage ordinaire, la chaux et la soude caustique résultant de la composition de Malard et Belesse, le gaz acide nitreux tenu en dissolution par le nitrate de mercure, si on y ajoute la prescription absolue d'un séchage rapide à l'étuve, nous paraissent démontrer que c'est la contraction de la fibre sur une certaine partie de sa longueur que l'on a essentiellement en vue. Si le poil gras peut s'en passer, on a fait remarquer qu'il paraît avoir été accidentellement affecté par les liquides de la transpiration et les émanations acides des individus qui l'ont porté. Il est probable qu'il se passe quelque chose d'analogue par le séjour des vieux poils. La matière étrangère qui la recouvre a dû éprouver quelques modifications par le tassement ou autres causes, et de là la formation d'un produit susceptible de déterminer une contraction ; peut-être aussi le simple séchage de la partie libre des tiges a-t-il suffi pour déterminer une différence entre la densité de la pointe et de la base. Quoi qu'il en soit, il nous paraît évident que tout liquide contractant acide comme celui du nitrate de mercure, alcalin comme la composition Malard et Belesse, ou neutre comme celui des plantes, peut produire plus ou moins l'effet. Seulement avec les liquides végétaux l'action est lente, irrégulière et ne satisfait pas assez les exigences pratiques auxquelles il faut des moyens qui leur permettent d'arriver rapidement et sans tâtonnement. L'emploi des alcalis a les inconvénients que nous venons de signaler lorsqu'ils sont faibles ou carbonatés, et un danger réel lorsqu'ils sont caustiques et trop concentrés ; ils désorganisent alors le brin et détériorent, par conséquent, le produit ; c'est probablement par ces motifs que l'action a été définitivement dévolue aux

acides, non-seulement pour le secrétage, mais encore pour le feutrage, dont le liquide est souvent acidulé par de l'acide sulfurique ou autre pour hâter l'effet. Mais dans la composition du liquide secréteur, c'est surtout le gaz acide nitreux qui paraît être mis à contribution comme préférable à tous. Rolland de la Platière, Peuchet, Guichardière, et tous ceux qui se sont occupés de la question disent : *l'acide nitreux dispose au feutrage en faisant aller le poil, mais sec et corrodant il altère la matière*. Un habile chimiste, M. Mulé, avec lequel nous nous sommes particulièrement entretenus de ce sujet, attribue également le rôle principal au gaz acide nitreux. Il voit dans le nitrate *acide de mercure* un corps éminemment *propre à absorber l'acide nitreux*. Il remarque encore que, pour bien opérer, le mercure est dissous à une douce chaleur, qu'on y ajoute ensuite l'eau, c'est-à-dire qu'on se met dans les meilleures conditions pour retenir les vapeurs rutilantes qui se dégagent; de plus, l'acide nitrique lui-même, qui a la propriété de retenir les vapeurs nitreuses, est employé dans une proportion considérable par rapport au mercure. Tout permet donc de supposer que l'effet du secrétage est obtenu par l'action de l'acide nitreux complété par le séchage rapide. S'il en est ainsi, M. Mulé proposerait de remplacer le nitrate acide de mercure par *le sulfate de protoxyde de fer*, qui a la propriété de retenir aussi le bioxyde d'azote, et l'acide nitreux qui se forment lorsqu'on met ce sulfate en présence de l'acide nitrique.

Nous ne sommes entrés dans ces quelques considérations chimiques qu'avec la réserve qui nous est imposée, nous plaçant sur un terrain qui n'est pas le nôtre; nous avons néanmoins cru devoir le faire pour réunir autant que possible tous les éléments qu'il est nécessaire de connaître pour se faire une idée exacte de l'état de la question.

Les poils préparés comme nous venons de le dire, leur feutrage se pratique de la manière suivante : nous supposons que l'on opère encore à la main, comme dans le plus grand nombre de cas, et que le poil destiné au feutrage d'un objet quelconque soit convenablement disposé, on procède progressivement au *bastissage* ou premier degré de *feutrage* sur les lots séparés du poil destiné au même résultat, à un chapeau, par exemple; les fractions du tout se nomment *capades*, on fait ordinairement deux capades dans le feutrage du chapeau, on en prend une

qu'on dispose dans la *feutrière*, c'est une forte toile sur laquelle on place l'une des capades, qu'on recouvre d'une feuille de papier, avant de placer la seconde couche ou capade; on plie et replie ensuite la feutrière dans tous les sens en l'humectant convenablement, pour empêcher son adhérence aux couches. Lorsque celles-ci ont acquis une certaine adhérence suffisante pour ne plus s'étendre, quoiqu'elles soient encore moites et *pétrissables*, on les réunit par les bords pour former un cône avec les deux surfaces triangulaires sur lesquelles on opère. Les feuilles de papier, souvent employées, ont pour but de réserver les parties qui ne doivent pas feutrer entre elles; nous ne nous arrêtons pas maintenant aux détails de la fabrication, ne voulant que compléter la description du feutrage. Lorsque le bastissage, c'est-à-dire la forme de l'objet est obtenu, sauf les dimensions, le feutrage se continue plus énergiquement sous le nom de *foule*. Des bancs ou des tablettes inclinées autour des rebords et vers l'intérieur d'une chaudière, constituent l'appareil à fouler. Cette chaudière alimentée d'eau acidulée d'acide sulfurique ou de tartre est maintenue à une température de 80° centigrades; il y a un ouvrier devant chaque tablette, chacun d'eux plonge et retire presque instantanément le feutre sur lequel il opère, en le pressant d'abord avec un rouleau de bois pour extraire l'eau chaude, il l'arrose ensuite avec de l'eau froide, puis le presse, le frotte d'abord avec les mains pendant plusieurs heures plus ou moins, d'abord directement, et ensuite avec des manicles ou semelles de bois, pour avoir plus d'action, jusqu'à ce que l'objet soit suffisamment rentré et ait atteint la forme et les dimensions recherchées. Malgré la durée de l'action mécanique sur la matière ramollie, en présence et sous l'influence des agents les plus énergiques du feutrage, s'il est dans la masse quelques poils trop gros et trop roides, ils n'auront pas feutré; c'est précisément ce qui arrive pour les jarres. Il suffit d'un brossage pour que ceux qui n'ont pas été enlevés aux triages préalables se décèlent et se détachent spontanément, car ils n'adhèrent aux points où on les découvre que par un simple contact sans liaison intime. Cependant ce poil ne diffère des autres et des duvets éminemment feutrables, que par son plus grand volume et la rigidité qui en résulte; ce caractère suffit, qu'on le remarque, pour empêcher le feutrage du poil, lors

même qu'il aurait subi l'action du secrétage le plus fort. Ce fait vient encore à l'appui des considérations précédentes.

Des machines employées au feutrage et au foulage. — Il existe plusieurs systèmes de machines tant pour le feutrage que pour le foulage; les apparences et certains caractères du résultat peuvent être modifiés en raison du genre de moyen mécanique employé; nous ne pouvons les indiquer ici que très-sommairement. Jusqu'en 1839 on produisait tous les feutres, sans exception, les grandes surfaces aussi bien que les chapeaux à la main, d'une façon analogue à celle parfois employée dans les campagnes.

Les Américains ont eu l'idée, vers cette époque, de substituer des machines fonctionnant automatiquement à l'action manuelle. Pour arriver plus sûrement à l'effet recherché, le travail a lieu d'une manière progressive et successive par des machines dont l'action des organes est un peu modifiée. Les nappes superposées des matières à feutrer forment une couche plus ou moins épaisse, passent ainsi successivement dans trois et parfois dans quatre machines qui constituent par conséquent un assortiment. Les premières machines de cet assortiment sont chargées de donner un commencement d'adhérence, de produire une espèce de *Bastissage*, on l'a, par conséquent, désigné en anglais sous le nom de *Hardenner*, et les machines suivantes chargées de finir l'opération, de clore le feutre, sous celui de *Planker* ou *Plankeur*. Ces machines sont précédées d'un appareil à faire les couches à feutrer, par la réunion et la superposition d'un certain nombre de nappes cardées. L'appareil en question, qui n'est autre qu'une espèce de toile sans fin à rouleaux, fait par conséquent suite à une carde ordinaire.

Les appareils à fouler les tissus qui n'ont pas besoin des ménagements nécessaires pour des nappes de fibres susceptibles de s'emmêler peuvent agir plus énergiquement dès le début de l'action, et par des moyens plus simples que ceux employés pour le feutrage de couches de filaments. Les pièces d'étoffes repliées sur elles-mêmes, disposées dans une auge d'une forme en général elliptique, sont soumises à des percussions, à des frottements ou à des pressions, agissant sur le tissu imprégné d'un liquide convenable pour le préserver et faciliter la transformation.

Les moulins à foulons peuvent en effet se diviser en mou-

lins à pilons verticaux ou à maillets inclinés, agissant par le choc; en foulons à la main à organes cannelés où le frottement est la cause déterminante; en foulons cylindriques opérant par la pression seulement, et en foulons où la pression est combinée à la percussion. Les uns sont à pression constante, d'autres à pression variable à volonté et à la main. Dans les plus perfectionnés l'action se règle spontanément, la pression augmente ou diminue en raison du degré d'avancement du travail, et de la diminution de volume du produit foulé.

Ce n'est pas seulement dans les machines qu'on remarque des différences suivant qu'elles sont destinées au feutrage ou au foulage, mais encore dans les ingrédients employés et dans la marche suivie dans l'opération pour atteindre les résultats. Pour le feutrage on se sert de liquides acidulés aussi élevés de température que possible. Pour le foulage, ce sont les liquides alcalins ou savonneux à une température très-modérée qui sont utilisés. Ces différences pour atteindre un but identique en principe, pour des matières d'une origine commune, ont leur raison d'être d'abord dans les changements d'état, la substance fibreuse ne comportant pas les mêmes manipulations que les tissus; ensuite dans les caractères recherchés pour les deux produits. Les uns, les feutres en général, doivent offrir des propriétés se rapprochant en quelque sorte et jusqu'à un certain point de celle du cuir, et ne pas perdre cependant complétement la souplesse qui caractérise les étoffes en général. Les autres, les tissus foulés, doivent avant tout conserver une flexibilité marquée, malgré le rapprochement intime des fils et du feutrage de leurs fibres.

Ces considérations peuvent faire saisir tout ce que ces opérations pratiques du feutrage et du foulage offrent de complexe, et la cause de la lenteur des progrès réalisés dans cette direction. Quant au feutrage, les modifications, nous ne dirons pas les progrès, des moyens et des procédés se bornent, depuis les temps les plus reculés, à la substitution du secrétage, à la tisane des chapeliers, et à l'invention des machines à feutrer de 1839. Malgré ces modifications que les anciens ne possédaient pas, ils produisaient des feutres plus remarquables que les nôtres si on s'en rapporte aux historiens, et surtout à Hérodote et à Pline. Selon ce dernier, on arrivait à ces résultats par l'addition des acides aux liquides employés au feutrage; ce renseignement viendrait en-

core à l'appui des considérations que nous avons présentées précédemment sur les caractères dont ces liquides doivent être doués et sur leur rôle dans le feutrage.

Quant aux ingrédients dont on se sert au foulage, ils ne paraissent pas avoir varié depuis les temps les plus reculés. Les machines seulement se sont transformées partiellement depuis une vingtaine d'années seulement. Les foulons cylindriques sont venus presque partout se substituer aux anciennes piles dans le travail du foulage. Différents systèmes sont en présence, et ont leurs raisons d'être, suivant les articles et les caractères spéciaux recherchés.

Ce n'est pas dans un article de ce genre qu'il est possible de traiter les détails pratiques que comporte ce sujet, l'un des plus importants et peut-être des moins étudiés de la fabrication. Nous sommes par conséquent obligé de nous borner à ce qui précède, ayant traité ailleurs la question avec tous les développements qu'elle mérite[1]. Nous nous bornons pour le moment au résumé suivant.

RÉSUMÉ DES OBSERVATIONS ET DES FAITS CONCERNANT LA PRÉPARATION OU FEUTRAGE.

1° Les filaments de la laine jouissent tous de la propriété feutrante sans nécessiter aucune préparation préalable ;

2° Les brins les plus fins et surtout les plus vrillés de la laine sont les plus feutrables;

3° Les poils en général ne feutrent régulièrement bien que lorsqu'ils ont subi une opération préalable pour développer leur propriété feutrante;

4° Il y a cependant des exceptions à cette règle ; le poil de castor *gras*, c'est-à-dire provenant de peaux qui ont été portées par les sauvages, peut se passer du secrétage préalable ;

5° Comparés entre eux au point de vue de leurs formes et de leurs apparences, les filaments directement feutrables et ceux qui ont besoin d'une préparation pour le devenir, ne présentent de différence que dans le vrillement, ainsi qu'on peut s'en assurer par les figures des deux planches 37 et 38. Le vrillement

1. *Fabrication des étoffes, traité des laines,* chez Noblet et Baudry.

naturel rend le secrétage inutile et nécessaire aux brins qui n'en sont pas doués;

6° La ténuité, la flexibilité et les aspérités des surfaces sont des caractères essentiels au développement du feutrage; lorsque le volume d'un poil atteint une limite telle que les saillies de la périphérie sont à peine sensibles par rapport à la grosseur du brin, celui-ci perd alors une grande partie de sa flexibilité et rentre dans la catégorie du jarre sous le rapport de la propriété feutrante, le secrétage devient impuissant à le rendre feutrable;

7° Les diverses préparations essayées et plus ou moins efficaces pour rendre les poils feutrables, paraissent agir essentiellement comme moyens susceptibles de contracter la partie sur laquelle on l'applique, le séchage rapide des tiges ou poils les saisit et les rend plus flexibles à une extrémité qu'à l'autre, et les met par conséquent dans l'état le plus propre à s'entrelacer lorsqu'ils sont ramollis et soumis aux pressions et frottements par lesquels ils sont transformés;

8° Jusqu'ici la préparation la plus complétement efficace pour développer l'action du feutrage est *le nitrate acide de mercure;*

9° C'est l'acide nitreux qui paraît particulièrement agir dans l'action du secrétage;

10° On pourrait l'obtenir d'une façon moins fâcheuse pour la santé des ouvriers en se le procurant par l'action de l'acide nitrique *sur le sulfate de protoxyde de fer;*

11° Le liquide chaud nécessaire au feutrage et à la foule a un double but, il sert à ramollir la matière cornée qui constitue les poils et la laine de façon à les lier et à les fixer aussi intimement que possible dans leur réunion, et pour les préserver des altérations que l'action mécanique produirait sur la substance sèche;

12° L'action mécanique est exercée par des chocs, des frottements ou des pressions, chacun de ces moyens détermine un résultat et des apparences qui lui sont propres. Les liquides employés varient également, mais les plus généralement en usage sont, en outre de l'eau acidulée pour les feutres purs, l'eau, l'eau de savon, et une dissolution concentrée de savon, qui ont également des actions et des conséquences différentes qui sont étudiées dans notre traité spécial déjà mentionné.

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

DE TRACTION

FAITES

AU CONSERVATOIRE IMPÉRIAL DES ARTS ET MÉTIERS

SUR DES CORDAGES EN SOIE,

PAR M. TRESCA.

M. Aubenas, de Loriol, a proposé au ministère de la marine l'emploi de cordages en soie, confectionnés avec les débris de la fabrication, pour remplacer certains cordages de petites dimensions.

La soie présente sur le chanvre des avantages marqués : elle se conserve indéfiniment sans putréfaction, et par cela même que l'eau ne la mouille pas, elle n'est pas exposée comme le chanvre aux inconvénients du gonflement, du roidissage et de l'augmentation de poids pendant les manœuvres.

Nous n'avons pas à examiner le côté économique de la question, mais nous nous sommes chargé de déterminer l'allongement, l'élasticité et le coefficient de rupture de ces nouveaux cordages, qui sont d'ailleurs très-souples et très-agréables au toucher.

Cinq échantillons nous avaient été remis. Leurs diamètres ne pouvaient, par suite même de la compressibilité du tissu, être déterminés avec quelque exactitude, et nous avons pensé qu'il valait mieux caractériser les divers échantillons par la connaissance de leur poids par mètre de longueur, ce mode d'estimation étant d'ailleurs en rapport avec la quantité réelle de matière employée.

		k.		m.
N° 1.	Poids par mètre	0.0332.	Diamètre approximatif	0.008
2.	—	0.0690.	—	0.010
3.	—	0.0687.	—	0.010
4.	—	0.0929.	—	0.012
5.	—	0.1169.	—	0.017

On voit que ces cordages sont tous de petit diamètre, et l'on a pu dès lors les essayer par charge directe, avec le même soin, et par les mêmes moyens que nous employons dans nos essais habituels sur la résistance des matériaux de construction à la traction.

A cet effet des repères ont été placés à deux mètres de distance l'un de l'autre, sur chacune des cordes tendues verticalement, et au moyen de deux cathétomètres on a pu mesurer, après chaque augmentation de charge, l'allongement produit entre ces deux repères.

Les expériences ont présenté d'ailleurs cette difficulté particulière que, par suite de l'allongement très-considérable des brins, il a fallu fréquemment remonter l'attache supérieure afin de replacer les repères dans le champ des instruments d'observation.

Le détail des chiffres très-nombreux de ces observations n'offre pas assez d'intérêt pour être reproduit en entier. Nous dirons seulement que, lorsqu'on représente par un diagramme la relation entre les allongements et les charges, en prenant les allongements pour ordonnées et les charges pour abscisses, on obtient dans chaque cas une courbe de même forme tournant sa concavité vers l'axe des abscisses.

Les allongements partiels, d'abord très-grands pour les petites charges, vont constamment en diminuant jusqu'à la charge de rupture, ce qui doit sans doute être attribué à ce que les brins se redressent d'abord en se serrant plus étroitement les uns contre les autres, et à ce que, vers la fin de l'expérience seulement, cet allongement, en quelque sorte apparent, se trouve remplacé par l'allongement même des fibres. Ce changement serait du reste insensible, car les courbes sont parfaitement continues et n'indiquent même point de passage brusque de l'une des périodes à l'autre.

Quant aux résultats généraux, le soin que nous avons pris de prendre pour point de comparaison le poids de chaque corde

avant toute traction nous permet de les résumer en forme de tableau, de la manière suivante :

Tableau des expériences faites sur la résistance à la traction des cordages en soie de M. Aubenas.

Nos DES CORDAGES.	POIDS DES CORDAGES par mètre.	ALLONGEMENT par mètre correspondant à la rupture.	CHARGE DE RUPTURE.	CHARGE DE RUPTURE pour 1 kil. par mètre courant.	POIDS PAR MÈTRE au moment de la rupture.	CHARGE DE RUPTURE pour 1 kil. par mètre de corde allongée.
	k.	m.	k.	k.	k.	k.
1	0.0332	0.194	228.00	6867	0.0279	8172
2	0.0690	0.293	458.60	6646	0.0533	8600
3	0.0687	0.352	410.60	5975	0.0508	8082
4	0.0929	0.325	490.60	5281	0.0701	7000
5	0.1169	0.381	586.60	5018	0.0847	6926

Les chiffres de la deuxième et de la troisième colonne résultent immédiatement des expériences faites. Ils établissent que les cordes plus grosses peuvent s'allonger plus que les autres, la dernière jusqu'aux quatre dixièmes de la longueur primitive.

Cette faculté tient sans doute à ce que les filaments ont plus de chemin à faire pour se serrer autant que possible les uns contre les autres.

Cette grande extensibilité des cordes de soie, surtout pendant les premières charges, serait sans doute un obstacle à leur emploi dans certaines conditions. La corde n° 2 s'est allongée de $0^m,115$ par mètre sous la première charge de $58^k,60$; la corde n° 5 de $0^m,170$ sous le même poids.

La comparaison des chiffres de la troisième colonne démontre que, eu égard à leur section ou à leur poids, les grosses cordes résistent moins que les autres, et ce fait est même encore mis en évidence par les chiffres de la quatrième colonne qui ont été déduits des précédents, de manière à rapporter la résistance de chaque corde à celle d'un faisceau de cordes semblables qui pèserait exactement un kilogramme par mètre de longueur.

La charge de rupture, dans ces conditions, s'abaisse successivement de 6867 kil. à 5018.

Nous connaissons peu de chose sur la résistance des cordes de chanvre par rapport à leurs poids. Cependant nous pouvons indiquer qu'un cordage très-bien fabriqué, pesant $0^k,475$, a résisté à une charge de 3260 kilogrammes, ce qui donnerait 5856 kilogrammes pour charge de rupture correspondant à un poids de 1 kilogramme par mètre.

Ce cordage avait $0^m,025$ de diamètre; il était formé de 4 torons, de chacun 18 fils de caret, de $0^m,025$ de diamètre. Il est remarquable que la soie ait résisté, à peu de chose près, jusqu'à la même charge. Cependant la rupture de cette corde de chanvre s'est produite après un allongement beaucoup moindre, de $0^m,07$ par mètre.

La connaissance du poids primitif de la corde, et celle de son allongement final, permettent de calculer ce qu'est devenu le poids par mètre au moment même de cette rupture, dans l'hypothèse où l'allongement se serait produit uniformément dans toute la longueur. Ces poids, calculés dans la colonne 5, permettent à leur tour de déterminer les charges de rupture qui correspondent à un faisceau de cordes ainsi allongées, dans le cas où ce faisceau pèserait 1 kilogramme par mètre courant.

On voit par la colonne 6 du tableau que ces nombres varient beaucoup moins que les précédents, de 7000 à 8000 kilog. seulement, et il nous paraît évident que le véritable coefficient de rupture doit être calculé dans les conditions mêmes où se trouve la matière au moment où cette rupture se produit.

Il serait fort utile que des déterminations analogues fussent faites pour les cordages de chanvre, et nous nous proposons de demander à cet effet des échantillons types au ministère de la marine.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des arts et métiers.

Paris, le 20 juin 1865.

H. TRESCA.

Vu : Le directeur, Général MORIN.

CONSERVATOIRE IMPÉRIAL DES ARTS ET MÉTIERS.

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

FAITES

SUR LA MACHINE A VAPEUR

des ateliers de M. BARBEDIENNE de Paris.

L'atelier de M. Barbedienne, 63, rue de Lancry, est mis en mouvement par une machine à vapeur construite par M. Barriquand, alimentée par une chaudière du système de MM. Hédiard et Joly.

Les essais avaient principalement pour but de déterminer si la chaudière et la machine pouvaient, en travail courant, développer régulièrement 8 chevaux-vapeur, mais les déterminations accessoires qui ont été faites nous permettront de fixer en outre quelques chiffres relativement à la consommation en eau et en charbon.

La chaudière à vapeur est enfermée dans un fourneau en maçonnerie dont les dimensions principales sont : hauteur $2^m,10$, largeur $1^m,43$, profondeur $2^m,87$, et elle se compose :

1° De trois bouilleurs de $0^m,35$ de diamètre, inclinés d'avant en arrière d'un angle de 20°;

2° De neuf tubes sécheurs, horizontaux, formant trois séries de trois tubes, chacune d'elles en communication avec l'un des trois bouilleurs, et versant le produit de la vaporisation de ce bouilleur dans la même bouteille. Ces tubes sécheurs sont en tôle étirée, du diamètre extérieur de 0,08;

3° D'une bouteille alimentaire verticale, recevant individuellement la vapeur de chacun des systèmes et la livrant au tube surchauffeur;

4° D'un tube surchauffeur qui, placé dans le fourneau parallèlement aux tubes sécheurs et parcourant dans le retour de flamme deux fois la longueur de la chaudière, avant de se rendre dans la boîte à tiroir de la machine.

La surface de chauffe ainsi constituée s'élève à 13,50 mètres carrés.

La bouteille alimentaire est placée à côté de la chaudière; elle communique par le bas avec chacun des bouilleurs, et elle est en communication avec la pompe alimentaire par un quatrième tuyau, qui donne accès à l'eau fournie par cette pompe et qui est puisée dans un réservoir chauffé par le passage de la vapeur d'échappement. Ce réservoir est lui-même alimenté par un réservoir extérieur d'une capacité plus grande.

Les dimensions de la grille sont : $L = 1^m,05$; $L' = 0^m,815$.

La machine à vapeur est à cylindre horizontal, sans autre enveloppe qu'une chemise en bois; à mouvement direct, à détente variable par l'action du régulateur, mais, dans les expériences faites, ce régulateur a été enlevé et la détente a été réglée d'une manière invariable à la main.

Le diamètre du cylindre est de $0^m,240$; la course du piston est de $0^m,500$, ce qui correspond à un volume développé par coup de piston de $0^{mc},022619$, ou approximativement de $22^{lit},6$; dans les expériences faites, la détente a été réglée nominalement au 5e d'admission, mais nous verrons par les diagrammes qu'en réalité cette admission était un peu plus prolongée; la moyenne de l'admission est, d'après ces documents, de 1 : 3,68.

On a monté sur le volant une poulie de frein d'un diamètre de 1^m40; la longueur du bras de levier de ce frein était de $1^m,58$, ce qui correspond à un chemin parcouru, par tour, de

$$2\pi \times 1,58 = 9^m,93.$$

Sur le fond postérieur du cylindre, on a adapté un indicateur de pression à l'aide duquel on a pu tracer des diagrammes à chaque quart d'heure.

On a, aux mêmes intervalles, observé le manomètre, un compteur de tours, et les niveaux de l'eau, tant dans la chaudière même que dans le réservoir alimentaire.

Le combustible (charbon de Mons bonne qualité) a été livré par fractions, pesées individuellement, et le tableau suivant con-

tient tous les éléments des observations faites dans la journée du 11 juin 1865.

Dans l'installation adoptée par M. Barbedienne, la pompe alimentaire n'est pas directement commandée par la machine à vapeur ; elle est mise en mouvement, comme les autres outils, par la transmission générale de l'atelier que l'on peut au besoin conduire par une petite machine spéciale de la fonderie.

Une expérience précédente avait dû être interrompue par suite d'une mauvaise installation de la transmission de la pompe, et de l'impossibilité où l'on s'était trouvé d'alimenter en quantité suffisante à la suite d'un abaissement trop grand du niveau de la chaudière. Nous avons dû considérer cette première expérience comme absolument nulle.

Tableau des observations faites pendant le fonctionnement de la machine à vapeur.

Heures des observations.	Pression indiquée par le manomètre.	Nombre de tours au compteur.	Tours comptés par minute.	Niveau de l'eau dans le tube indicateur.	Niveau de l'eau dans le réservoir alimentaire.	Combustible livré au chauffeur.	Numéros des diagrammes.	OBSERVATIONS.
8.44	»	»	»	»	»	49	»	On allume le feu avec la presque totalité de ce combustible et des copeaux.
8.59	»	»	»	»	»	37	»	
9.22	1.5	»	»	»	»	»	»	
9.34	5.0	»	»	»	»	»	»	
9.43	6.0	»	»	»	»	»	»	On met la machine en marche.
9.52	»	»	»	»	»	»	»	Temps perdu pour régler la pression.
10.0	6.0	10020	60	14.3	— 184	12	»	Le frein a été réglé dans cet intervalle.
10.7		»	»	»	»	»	1	Arrêt pendant 1 minute.
10.12	6.00	»	63	»	»	»	2	
10.15	6.00	101100	63	10.3	»	»	»	
10.22	5.90	»	62	»	»	»	3	
10.30	5.60	102098	67	14.0	— 265	»	»	
10.37	5.70	»	69	»	»	»	4	
10.40	5.70	»	70	»	»	49	5	
10.46	5.80	103250	»	9.5	»	»	6	
10.53	5.80	»	70	»	»	»	»	On est obligé de purger le cylindre, et il sort trop d'eau par l'indicateur pour que l'on puisse tracer.
10.54	5.80	»	72	»	»	»	7	
10.56	»	»	»	»	»	»	8	Diagramme tracé pendant que le purgeur est ouvert.
11.0	5.80	104300	73	8.4	— 343	»	»	
11.12	»	»	72	»	»	»	9	On a purgé avant le tracé.

Heures des observations.	Pression indiquée par le manomètre.	Nombre de tours au compteur.	Tours comptés par minute.	Niveau de l'eau dans le tube indicateur.	Niveau de l'eau dans le réservoir alimentaire.	Combustible livré au chauffeur.	Numéros des diagrammes.	OBSERVATIONS.
11.15	5.70	105375	66	10.8	»	»	»	
11.21	»	»	»	»	»	»	10	Il sort beaucoup d'eau par le piston de l'indicateur.
11.31	5.60	106380	63	15.4	— 411	»	»	
11.37	5.70	»	66	»	»	»	11	
11.45	5.70	107330	66	7.2	— 414	»	»	
11.50	5.70	»	62	»	»	»	12	
12.0	5.70	108265	66	10.2	— 504	49	»	
12.15	5.60	109305	66	10.0	»	»	»	
12.30	5.70	110250	67	8.5	— 515	»	»	
12.36	5.90	»	74	»	»	»	13	
12.45	5.80	111330	70	14.0	— 650	»	»	
1.00	5.70	112425	68	8.6	»	»	»	
1.7	5.90	»	77	»	»	»	14	
1.17	5.60	113680	70	— x	— 728	»	»	
1.24	»	»	»	»	»	49	»	
1.30	5.40	114490	61	13.6	»	»	15	
1.45	5.75	115590	72	14.0	— 783	»	»	
2.0	5.75	116698	73	12.2	— 828	»	»	
2.8	5.70	»	70	»	»	»	16	
2.15	5.75	117860	72	8.0	— 852	»	»	
2.30	5.60	118400	68	13.5	— 900	»	»	
2.32	5.70	»	70	»	»	»	17	
2.42	»	»	»	»	»	44	»	
2.45	5.65	120000	69	»	— 912	»	»	
3.0	5.60	121103	69	15.0	— 988	»	»	
3.8	5.80	»	73	»	»	»	18	
3.15	5.90	122185	77	9.5	»	»	»	
3.30	5.50	123348	69	17.0	— 1124	»	19	
3.45	5.60	124498	70	9.5	»	»	»	
3.55	5.90	»	71	»	»	»	»	
4.0	5.60	125445	65	»	»	»	»	
4.0	»	»	0	»	»	»	»	On arrête la machine et l'on met bas le feu pendant l'arrêt de la machine.
4.40	»	»	0	12.0	»	»	»	
4.40	»	»	»	19.0	»	»	»	La machine en marche.
4.45	»	»	»	»	— 1235	»	»	Le petit réservoir étant plein comme au départ.
4.00	5.70	252400			— 1651	203	19	

La machine spéciale qui faisait fonctionner la pompe alimentaire ayant cessé de fonctionner à partir de 3 h. 20, l'expérience n'a pu être continuée aussi longtemps que nous l'aurions désiré, et il a fallu la remettre en marche après la cessation de l'expé-

rience afin de rétablir le niveau de l'eau au même point qu'au commencement de la mise en marche régulière, c'est-à-dire à 10 heures précises.

Le fonctionnement a duré ainsi pendant 6 heures effectives, le feu étant, au commencement et à la fin, pris dans son état de régime, sans que le chauffeur eût été averti du moment où l'on devait arrêter.

Dans le calcul de la pression moyenne de la chaudière, on n'a tenu compte que des observations faites de quart d'heure en quart d'heure pendant toute la durée de l'opération. Cette pression moyenne est de $5^{at},70$.

Celle qui correspond aux tracés des diagrammes est un peu différente : elle s'élève à $5^{at},78$; mais, eu égard à l'incertitude des lectures, nous pouvons considérer ces chiffres comme identiques.

Le nombre total des tours de la machine s'est élevé à 25240, pour une période de $6 \times 60 = 360$ minutes, ce qui correspond à un nombre de tours moyen de $25240 : 360 = 70{,}11$ par minute.

Les observations individuelles montrent que cette vitesse s'est maintenue entre les chiffres extrêmes de 60 et 77 tours, ce qui tient évidemment à l'absence de régulateur, et à la nécessité de régler, une fois pour toutes, le frein avec une même charge.

Ce frein, pour lequel nous avons adopté la disposition à levier inférieur que nous ne saurions trop recommander, était graissé avec du suif en branches, et il s'est maintenu avec une régularité si parfaite qu'on a pu quelquefois rester plus d'une demi-heure sans toucher à l'écrou.

La charge du frein étant fixée à 60 kilogrammes, le travail par tour était représenté par $9{,}93 \times 60 = 595{,}80$ kilogrammètres; et à raison de la vitesse moyenne de 70,11 tours par minute, le travail effectif par seconde se trouve mesuré par

$$585{,}80 \times \frac{70{,}11}{60} = 698 \text{ kilogrammes,}$$

et le travail effectif en chevaux par

$$698 : 75 = 9{,}31 \text{ chevaux.}$$

Toute liberté était laissée au chauffeur de M. Hédiard pour régler l'alimentation comme il l'entendait. Malgré tous les soins

qu'il a pris à cet égard, le niveau de l'eau, dans la chaudière, a varié d'une manière notable et nous avons lieu de croire que les indications du tube de niveau ne sont pas toujours exactes.

Cependant, eu égard aux faibles dimensions des tubes, nous pouvons considérer comme égales entre elles les quantités d'eau qui étaient dans la chaudière au commencement et à la fin des observations.

Le volume d'eau dépensé est alors donné par la dénivellation dans le réservoir supérieur, de forme rectangulaire, dont les dimensions sont comprises dans le produit

$$1^{m},051 \times 0^{m}61 \times 2^{m},00 = 1^{mc},282.$$

On a donc consommé en totalité 1282 litres d'eau, soit par heure 1282 : 6 = 213,77 litres, ce qui correspond à une consommation, par cheval et par heure, de

$$213,77 : 9,31 = 22,96 \text{ litres.}$$

La consommation du charbon a été très-régulière; de 10 h. à 4, elle s'est élevée à 203 kilogrammes, sans compter les 86 premiers kilogrammes qui ont été complétement dépensés pendant la période d'allumage.

A l'aide de ce chiffre on arrive immédiatement aux évaluations suivantes :

Consommation de charbon par heure :

$$203 : 6 = 33^{k},83.$$

Consommation de charbon par force de cheval et par heure :

$$203 : (6 \times 9,31) = 3^{k},63.$$

Eau vaporisée par kilogramme de charbon :

$$1282 : 203 = 6^{k},31.$$

Bien que ces chiffres caractérisent déjà les conditions générales des appareils moteurs considérés dans leur ensemble, nous demanderons encore aux diagrammes les renseignements nécessaires pour apprécier isolément les qualités de la chaudière et celles de la machine.

Trois diagrammes ont été annulés pour cause d'incertitude dans certaines parties des tracés.

Les 15 diagrammes conservés ont été relevés isolément; le tableau suivant renferme toutes les données numériques qu'ils ont fournies.

Tableau des indications fournies par les diagrammes.

Numéros des diagrammes.	Nombres de tours par minute.	Pressions correspondantes.	Ordonnées maxima des diagrammes.	Pressions calculées correspondantes.	Abscisses des diagrammes.	Surface des diagrammes.	Ordonnées moyennes des diagrammes.	Efforts correspondants.
			mill.					
2	68	6.0	33.0	4.08	81.3	1075	13.19	1.42
3	62	5.9	33.5	4.13	81.3	1175	14.45	1.55
7	72	5.8	29.0	3.71	83.5	1135	13.60	1.46
8	72	5.7	31.2	3.91	82.5	1230	14.91	1.60
9	72	5.8	33.0	4.08	82.5	1183	14.34	1.54
10	65	5.7	33.0	4.08	81.5	1198	14.70	1.58
11	66	5.7	31.0	3.90	81.0	1180	14.57	1.57
12	62	5.7	34.0	4.18	81.0	1243	15.35	1.65
13	74	5.9	32.0	4.00	80.2	1108	13.07	1.40
14	77	5.9	32.0	4.00	82.0	1215	14.82	1.59
15	62	5.5	33.0	4.08	81.0	1200	14.81	1.59
16	70	5.7	33.0	4.08	82.0	1160	14.15	1.52
17	70	5.7	34.0	4.18	82.0	1250	15.24	1.64
18	78	5.8	31.5	3.94	80.8	1160	14.36	1.54
19	71	5.9	33.0	4.08	81.5	1215	14.90	1.60
	68.86	5.78	32.4	4.03		1181		1.55

Le nombre de tours moyen qui résulte de ce tableau est un peu moindre que pour l'ensemble de l'expérience, 68,86 au lieu de 70,41, mais cette différence est compensée par la différence des pressions qui affecte les résultats en sens contraire, 5,78 au lieu de 5,70.

Le ressort de l'indicateur, fait spécialement pour cette expérience, fléchissait de 10,753 millimètres par kilogramme ou par atmosphère. C'est en partant de ce chiffre que nous avons pu réduire l'ordonnée d'admission des diagrammes ou 32,4 millimètres en pression. En tenant compte de la pression atmosphérique, cette pression d'admission est 4,03 atmosphères qui représentent seulement 4,03 : 5,78=0,70 de la pression moyenne de la chaudière.

Eu égard aux dimensions des orifices et au faible parcours de la vapeur, entre la chaudière et le cylindre, cette différence explique la grande quantité d'eau fournie par les purgeurs.

La vapeur a entraîné, pendant toute la durée des essais, de l'eau non vaporisée, en plus grande quantité qu'à l'ordinaire.

Quant au coefficient d'utilisation du travail indiqué, il ressort également des chiffres du tableau.

La pression moyenne développée sur le piston étant de $1^{at}55$, le travail indiqué par seconde se trouve représenté par le produit

$$10330 \times 1,55 \times (V = 0^{m},022619) \times \frac{2 \times 68^{t},86}{60} = 831,16 \text{ kilogr.}$$

ou 831.16 : 75 = 11,08 chevaux indiqués.

En rapprochant de ce résultat le chiffre qui nous a été donné par le calcul de l'essai au frein, nous trouvons que l'utilisation de la machine, par rapport au travail indiqué, est donnée par le quotient

$$9,31 : 11,08 = 0,840.$$

Ce résultat est très-satisfaisant et montre suffisamment que la machine était en bon état d'entretien.

En résumé, le générateur et la machine peuvent fournir en service courant, au développement d'une puissance effective de 9 chevaux; on pourrait sans doute obtenir ce travail avec une dépense moindre de combustible, soit en employant une machine à enveloppe, soit en modifiant le générateur de manière à obtenir un plus grand effet utile du combustible, et surtout en cherchant à diminuer la proportion d'eau entraînée ; mais il n'entre pas dans notre mission d'examiner les avantages qui pourraient résulter de ces modifications, et nous devons nous borner aux simples constatations qui précèdent.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des arts et métiers,

Paris, le 18 juillet 1865.

H. TRESCA.

Vu : le directeur, Général MORIN.

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

FAITES

au Conservatoire impérial des arts et métiers

SUR UNE MACHINE A VAPEUR, SYSTÈME ROHREN,

A VAPORISATION INSTANTANÉE,

PAR M. H. TRESCA.

La machine que M. Rohren a installée au Conservatoire réalise, sous forme différente, la disposition originale de M. Perkins, qui se présente, dans la nouvelle disposition, avec des caractères particuliers, et surtout avec de nombreuses améliorations de détail.

Les modifications sont telles qu'il nous paraît nécessaire de donner une description complète du système qui réunit sous un petit volume l'ensemble de la chaudière et de la machine.

Le fourneau est formé d'une caisse rectangulaire en fonte ayant à l'intérieur les dimensions suivantes :

Largeur $0^m,788$; profondeur, $1^m,05$; hauteur, $0^m,996$.

Les parois sont garnies intérieurement en maçonnerie réfractaire de $0^m,07$ d'épaisseur, ainsi que tout le prolongement de la sole derrière l'autel.

La grille est formée de barreaux très-rapprochés couvrant un espace de $0^m,41 \times 0^m,41 = 0^{mq},168$.

La fumée fait trois parcours avant d'atteindre la cheminée, de $0^m,20$ de diamètre, qui prend naissance au milieu de la face supérieure du fourneau.

La chaudière proprement dite se compose de 12 cornières doubles ou croisillons en fonte qui s'ajustent par simple contact les

uns à côté et au-dessus des autres, et qui laissent entre eux les espaces nécessaires pour le passage de la fumée.

Ces croisillons sont percés suivant leurs axes, et servent de fourreaux à autant de tubes en fer de $0^m,02$ de diamètre extérieur, débouchant de chaque côté du fourneau. Les diamètres intérieurs des tubes varient de $0^m,0092$ à $0^m,0122$, les plus grands étant les plus rapprochés du cylindre.

Ces tubes, dans lesquels la vapeur doit se former, sont reliés deux à deux, à l'extérieur, par de petites tubulures armées de brides, d'un démontage facile au moyen de boulons. Les joints sont faits avec des feuilles de toile métallique empreintes de mastic, et pour éviter le refroidissement de ces tubulures, elles sont recouvertes de chaque côté par une poche en tôle rapportée.

Il résulte de cette disposition que la chaudière tout entière est formée de tubes droits de $1^m,08$ de longueur, reliés par des parties cintrées qui ne peuvent être comptées dans l'évaluation de la surface de chauffe. Cette surface est ainsi limitée à

$$12 \times 1^m,08 \times 2\pi r = 0^{mq},80,$$

si on la calcule d'après le diamètre extérieur des tubes de fer. Il est vrai que ces tubes sont entourés de fonte maintenue à une température très-élevée, dans quelques parties mêmes à la température rouge, et ils ont suffi dans ces conditions pour vaporiser jusqu'à 60 kilogrammes d'eau par heure. Cette vaporisation maximum revient à 60 : 0,80 = 75 kilogrammes de vapeur par mètre carré de surface de chauffe, c'est-à-dire que la totalité de la surface de chauffe agit à peu près comme surface directe. Cette haute température de toutes les parties du foyer doit nécessairement se traduire par une grande perte de chaleur, par les gaz brûlés, qui ne peuvent évidemment se refroidir beaucoup par un si petit parcours entre des parois très-chaudes.

Dans la cheminée, la température des gaz n'est pas inférieure à 300°, encore bien qu'une petite bâche en tôle, ajustée dans le couvercle du fourneau, soit toujours remplie d'eau destinée à s'y échauffer aux dépens des gaz de la combustion, avant que cette eau soit injectée dans les tubes par la pompe alimentaire.

Cette pompe présente une particularité intéressante, qui assure son fonctionnement à grande vitesse. A cet effet, le piston a des

temps d'arrêt beaucoup plus grands qu'à l'ordinaire, et ces temps de repos permettent aux soupapes de faire leur jeu avec une grande régularité.

Ce résultat est obtenu par le moyen d'une petite bielle à œil allongé, qui est placée entre l'excentrique et le piston. La course de la bielle est plus grande que celle du piston, qui s'arrête ainsi, à fond de course, avant le point mort de l'excentrique, et qui ne repart que quand déjà tout le jeu de l'œil est dépensé dans le mouvement de retour.

Lorsqu'on juge que la température du fourneau est suffisante, on commence à faire l'injection à la main au moyen d'une première pompe manœuvrée par un levier; à partir de ce moment, la pression monte rapidement et la machine se met en mouvement; une seconde pompe jumelle, agissant sur les mêmes clapets, est commandée régulièrement par elle pendant toute la durée du fonctionnement, en même temps que la tige du tiroir à laquelle elle est invariablement liée.

L'eau puisée dans la bâche de chauffage est injectée dans le tube le plus rapproché de la cheminée, en telle sorte qu'elle chemine en sens envers de la fumée, et qu'elle quitte le faisceau tubulaire par l'extrémité la plus rapprochée du foyer.

La machine, à cylindre vertical, est fixée sur l'une des faces latérales du fourneau, la saillie maximum, à l'extrémité de l'arbre moteur, étant seulement de $0^m,75$.

Le cylindre a $0^m,078$ de diamètre, le piston une course de $0^m,156$, ce qui correspond à un volume développé par tour de

$$\frac{\pi D^2}{4} L = \frac{3,1416 \times 0^{mq},006084}{4} \times 0^m,156 = 0^{mc},000744.$$

La vapeur sortant du générateur passe directement dans la boîte à tiroir, à une pression et par conséquent à une température très-élevée. La distribution ne présente rien de particulier, si ce n'est un peu de recouvrement. Enfin la vapeur d'échappement se rend à la cheminée en passant par une sorte de serpentin plongeant dans la petite bâche d'alimentation.

La pression n'est limitée, dans tout l'appareil, que par l'application à la boîte du tiroir d'une soupape à levier, chargée d'un poids mobile dont on peut ainsi faire varier l'action. La

machine fonctionne habituellement sous une pression de dix atmosphères.

Le mouvement du piston est transmis à l'arbre moteur par un cadre extérieur, et cet arbre, qui porte un volant de $1^m,10$ de diamètre et du poids de 148 kilogrammes, est muni d'une poulie à gorge qui, au moyen d'une corde sans fin, passant sur trois galets, met en mouvement un modérateur à boules placé sur le haut du bâti de la machine, et qui est ici chargé d'une fonction toute particulière.

La vapeur étant employée presque aussitôt qu'elle est produite, c'est sur la production de vapeur, et par conséquent sur la quantité d'eau injectée que l'influence du modérateur doit être exclusivement dirigée.

A cet effet, la bague mobile du modérateur agit au moyen de leviers intermédiaires sur une tige verticale portant deux appendices horizontaux formant butoirs. Le butoir supérieur est destiné à soulever le levier de la soupape de la boîte à tiroir, de sorte qu'il vide la chaudière de toute la vapeur qu'elle contenait. L'autre butoir agit simultanément sur une soupape de sûreté semblable installée entre les deux corps de la pompe alimentaire. Quand le levier de cette soupape se trouve relevé, l'eau injectée par la pompe est rejetée au dehors, et l'introduction dans le générateur ne se rétablit qu'au moment où les boules du modérateur ont repris leur vitesse de régime.

On voit que ces boules doivent, pour remplir leur mission, avoir une masse suffisante pour déterminer tout à la fois le décollement des deux soupapes de sûreté.

Les expériences sur la machine de M. Rohren ont été nombreuses, mais par suite du dérangement de la garniture du piston elles n'ont pas été prolongées autant que nous l'aurions désiré. Cependant les chiffres sont assez concordants et la simultanéité des consommations en eau et en charbon pourra nous fixer d'une manière certaine sur les conditions du fonctionnement de cette machine.

Sans entrer dans le détail des chiffres, les résultats de ces expériences pourront être résumés de la manière suivante :

Tableau des résultats obtenus avec la machine Rohren.

DATES des EXPÉRIENCES.	DURÉE des expériences.	PUISSANCES mesurées au frein.	COMBUSTIBLE par cheval et par heure.	EAU VAPORISÉE par cheval et par heure.	EAU VAPORISÉE par kilogramme de charbon.	OBSERVATIONS.
	minute.	chevaux.				
14 juin....	300	2.03	5.50	26.4	4.7	Houille de Mons.
19 juin....	296	2.02	7.00	30.0	4.4	Houille de Mons.
23 juin....	111	2.44	4.87	25.0	5.2	Houille et coke.
24 juin....	180	2.50	5.00	»	»	Houille et coke.
26 juin....	160	1.98	5.60	28.0	4.9	Houille et coke.
		2.19	5.59	27.6	4.80	

Le tirage ayant été très-mauvais pendant toute la journée du 19 juin, nous laisserons de côté les indications qui y sont relatives, et les chiffres moyens pour les quatre autres essais deviennent les suivants :

Puissance en chevaux effectifs. . . . . , ... 2ch24
Combustible brûlé par force de cheval et par heure. 5k,24
Eau vaporisée par force de cheval et par heure. . . . 26 ,46
Eau vaporisée par kilogramme de combustible. . . . 4 ,92

Ce dernier résultat indique que la chaleur dégagée par la combustion n'est pas bien employée. C'est ce que l'on observerait également dans la plupart des systèmes de vaporisation instantanée, dans lesquels la surface de chauffe est toujours trop petite pour produire un refroidissement convenable des gaz brûlés. Cet inconvénient est en partie racheté par d'autres circonstances, puisque la consommation d'eau ne dépasse pas 26k,46 par cheval et par heure, chiffre qui se rapproche des données les plus ordinaires des machines sans condensation à faible détente.

Bien que la pression soit ici très-élevée, on sait d'ailleurs que l'utilisation du travail qu'elle fournit n'augmente pour ainsi dire qu'en raison de la détente, qui paraît être très-limitée dans la machine de M. Rohren.

Tout compté, la consommation en charbon est élevée, même pour une machine de deux chevaux, et pour que la machine soit destinée à quelques succès, il faudrait qu'elle présentât

quelque autre avantage considérable par rapport aux machines ordinaires.

Nous sommes donc conduits à faire quelques rapprochements au point de vue des avantages principaux que M. Rohren a cherché à réaliser par l'ensemble de ses dispositions.

La chaudière est d'un petit volume. Elle cube pour deux chevaux $0^{mc},80$, soit $0^{mc},40$ par cheval. Une chaudière tubulaire de locomobile n'est pas plus grande, mais sa forme est, en général, plus encombrante par cela même que la chaudière de M. Rohren est rectangulaire et qu'elle ressemble ainsi à un meuble.

Le nettoyage et l'entretien sont chez M. Rohren plus faciles, et la dépense première est certainement moindre. Les incrustations ne sont pas cependant évitées d'une manière absolue par suite de la grande vitesse de circulation de la vapeur.

La mise en feu est plus prompte. Elle a cependant exigé une heure, et nous pensons que l'on peut arriver au même résultat, à puissance égale, avec les petites locomobiles à chaudière verticale qui sont construites dans quelques ateliers. Cependant la nouvelle disposition comporte mieux les temps d'arrêt qui, dans quelques industries, peuvent se répéter fréquemment. Une fois échauffée le matin, elle ne consommera pour ainsi dire que suivant le travail développé.

La chaudière est absolument inexplosible. Cela nous semble vrai à tel point, que nous n'hésiterions pas à employer la machine Rohren dans un atelier occupé par de nombreux ouvriers.

La machine est bien groupée à côté du générateur. Elle constitue avec lui une installation très-simple. Elle s'arrête en levant à la main la soupape de la pompe ; elle se remet en marche normale après quelques coups de piston donnés également à la main. Cette propriété peut être précieuse dans un certain nombre de circonstances.

Nous ne pouvons cependant omettre de lui reprocher sa trop grande vitesse, et la température trop élevée du cylindre. Il résulte des tableaux de détail que la vitesse de régime est de 200 tours par minute environ, ce qui correspond à une vitesse de piston de $\left(\frac{200 \times 0^{m},156 \times 2}{60} = 1^{m},04\right)$. Cette vitesse n'est vraiment exagérée qu'eu égard à la fréquence des changements dans

le sens du mouvement, et il est possible que sous ce rapport les inconvénients ne soient pas considérables.

Il en est tout autrement de l'exagération de la température de la vapeur. Le graissage est en réalité fort difficile et les garnitures du piston et de la boîte à étoupes, bien que faites avec de l'amiante, se maintiennent difficilement en bon état.

En résumé, la machine à vapeur instantanée de M. Rohren, bien construite et bien étudiée dans tous ses détails, consomme plus de combustible que les machines ordinaires de même puissance. Elle fonctionne régulièrement et avec facilité; elle offre une sécurité complète, mais un fonctionnement très-prolongé peut seul donner la mesure de la permanence de ses effets, et faire voir si la grande vitesse de la machine, d'une part; si d'autre part les incrustations et l'élévation de la température permettront, dans des conditions suffisantes de durée, son application sérieuse à l'industrie.

Nous devons ajouter en terminant que des expériences semblables aux nôtres ont été faites à Manchester sur une machine de même dimension. M. Romminger nous assure que les résultats ont été plus favorables quant à la vaporisation par kilogramme de charbon. Les chiffres anglais seraient les suivants :

Puissance effective en chevaux	$2^{ch}25$
Combustible brûlé par cheval et par heure.	$4^{k},07$
Eau vaporisée par cheval et par heure.	25 ,37
Eau vaporisée par kilogramme de combustible. . . .	6 ,23

Nous citons ces chiffres sous la responsabilité du constructeur. Ils ne nous paraissent pas improbables, mais nous ne pouvons toutefois constater que ceux qui, compris dans ce procès-verbal, résultent d'observations contradictoires, dans lesquelles toute liberté était laissée à l'inventeur pour le choix des conditions les plus favorables à sa machine.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des arts et métiers,

H. TRESCA.

Paris, le 30 septembre 1865.

Vu : le directeur, Général MORIN.

Légende de la planche 34.

La fig. 1 est un plan général de la machine et de la chaudière.

La fig. 2 représente une coupe transversale faite dans la chaudière et dans le fourneau.

La fig. 3 est une élévation générale du côté de la machine.

La fig. 4 est une coupe verticale faite par l'axe de l'arbre moteur.

A est la grille du fourneau; l'air pénètre par la porte *a* du cendrier et le combustible s'introduit par la porte supérieure B du foyer.

a' carneau de nettoyage.

C est l'autel en fonte, garni comme tout l'intérieur du foyer, d'une forte chemise en maçonnerie réfractaire.

D carneaux de circulation des gaz brûlés qui cheminent dans les directions indiquées par les flèches et qui s'échappent par la cheminée E.

FF double rang de tuyaux enveloppés de fonte et formant par leur ensemble la totalité du générateur.

L'eau d'alimentation arrive en *f*, entre par le tuyau F du rang supérieur, circule dans tous les tuyaux successivement jusqu'en F_2 et se rend enfin dans la boîte à tiroir par le tuyau f_2, fig. 3.

Les raccordements entre deux tuyaux successifs se font, à l'intérieur du générateur, au moyen de doubles brides *gg* réunies par un coude *g*.

Pour préserver ces appendices du refroidissement, ils sont, de chaque côté, recouverts par une enveloppe mobile en tôle mince.

H pompe alimentaire manœuvrée par la machine motrice, puisant l'eau chaude dans la bache *h* et la dirigeant dans le tuyau *f*.

H', pompe semblable, agissant sur les mêmes clapets et disposée pour fonctionner à la main avant la mise en pression de la machine.

L cylindre moteur avec son piston *l*.

M bouton de manivelle actionné par la bielle en retour de la machine.

N arbre moteur muni d'un volant *n* et d'une poulie à gorge *n'*.

$n_1\, n_2\, n_3$ poulies reliées à la première par une corde à boyau et faisant fonctionner le modérateur O placé au-dessus du mécanisme.

o tige commandée par le régulateur et destinée à faire cesser momentanément le jeu de la pompe en déchargeant une soupape de sûreté, placée à côté du clapet d'aspiration.

En même temps cette tige *o* agit, par un mentonnet, sur une autre soupape S placée sur la boîte à tiroir, de manière à déterminer la sortie immédiate d'une petite quantité de vapeur, qui se rend alors dans la cheminée par un tuyau spécial.

Q excentrique de la distribution, agissant par l'intermédiaire de la bielle *q* sur la tige du tiroir et commandant à l'aide de la bielle inférieure *q'* le jeu de la pompe alimentaire.

S soupape de sûreté de la boîte de distribution, à l'aide de laquelle on fait varier la limite de la pression par le déplacement du contre-poids *s*.

T tuyau d'échappement circulant dans l'intérieur de la boîte *h* avant d'atteindre la cheminée E.

NOTE

SUR LA PRESSE A FOURRAGES DE M. WOHL

PAR M. H. TRESCA.

La presse à fourrage de M. Wohl, qui a été essayée aux magasins de Vincennes, présente plusieurs dispositions intéressantes que sa description complète nous permettra de signaler.

Son bâti se compose d'un cadre vertical en bois de charpente, de 0m,24 sur 0m,20 d'équarrissage, assemblés sur des semelles horizontales de 0m,20 sur 0m,20.

La traverse supérieure est en outre rattachée à ces semelles au moyen de huit tirants inclinés, en fer rond, distribués deux à deux aux quatre angles de ce bâti.

Cette charpente porte à son étage intermédiaire une plate-forme destinée à recevoir les ouvriers, en haut et au-dessus de la traverse, les manettes et les organes de transmission, au-dessous et sur les semelles inférieures, la caisse ou coffre mobile dans lequel le foin doit être comprimé.

La pression s'effectue à l'aide d'un plateau horizontal commandé, dans son mouvement de descente, par une crémaillère verticale, mise en action par une série de rouages bien groupés, avec lesquels elle constitue une sorte de cric à engrenages placé dans une situation renversée.

Le système complet comprend 7 rouages ; le premier est calé sur un arbre horizontal muni d'un grand volant à manettes ; les 6 autres sont fixés deux à deux sur trois arbres parallèles ; le dernier pignon est celui qui engrène directement avec la crémaillère.

Les éléments numériques de cette transmission sont les suivants :

Rapport entre la première roue et le premier pignon. .	3
Rapport entre la deuxième roue et le deuxième pignon.	3
Rapport entre la troisième roue et le troisième pignon.	3
Rapport entre le diamètre du volant et le diamètre du pignon de la crémaillère.	13
Rapport des chemins parcourus	351

Ce rapport, qui est très-grand, montre qu'avec deux hommes on peut exercer des efforts très-considérables, et, pour les manœuvres rapides, on peut se servir seulement d'un volant plus petit, monté sur l'arbre de la deuxième roue.

Le rapport des chemins parcourus respectivement par le point d'application de la puissance et celui de la résistance est alors donné plus simplement par le produit des deux rapports

$$5 \times 9 = 45.$$

Des cliquets sont disposés comme dans les treuils, et on peut assez facilement débrayer à volonté les rouages de la transmission lente.

Tous les assemblages sont consolidés avec des boulons et avec des équerres en fonte, de manière que l'ensemble de la presse peut être considéré comme étant tout à la fois très-solide et très-léger.

Entre les deux montants du bati se trouvent deux rails saillants sur lesquels on roule successivement les coffres de pressage. C'est dans le mode de construction de ces coffres que résident, suivant nous, les avantages pratiques du système. Aussi donnerons-nous plus de détails sur cette partie importante de la presse.

1° Le fond du coffre est formé d'un double plancher de chêne, de 0^m11 d'épaisseur, sur lequel les essieux sont directement fixés. Il est renforcé par-dessous au moyen de tasseaux qui, dès qu'une petite flexion s'est produite, viennent reposer sur les semelles, et trouvent alors, dans cet appui, une résistance qui empêche toute déformation nuisible ;

2° Les quatre faces latérales sont assemblées avec le fond par des charnières, de telle façon que, par le simple rabattement de ces quatre volets, la balle se trouve en un instant dégagée par ses quatre côtés; lors du relèvement du piston, cette balle

devient absolument libre, et on la dégage sans aucune difficulté;

3° La fermeture du coffre est assurée au moyen de quatre fortes cornières fixées aux faces d'avant et d'arrière, et de huit gros loquets, fort bien ajustés, qui permettent d'ouvrir et de fermer à la main, et sans coup de marteau, même pendant que la pression s'exerce à l'intérieur, parce qu'elle est alors supportée, pour une grande part, par les équerres intermédiaires.

Tous les détails de cette fermeture sont parfaitement étudiés, et ils répondent bien à leur but.

Le coffre est à section carrée, de $0^m,90$ à l'intérieur; sa hauteur est de $1^m,20$, mais cette hauteur peut être portée, par des hausses, jusqu'à $1^m,61$, pendant les opérations préparatoires et la première partie de la compression.

Le coffre est rempli de foin par deux hommes, qui le foulent avec les pieds, et qui, en 5 minutes, l'amènent à une densité de 72 kilogrammes au mètre cube.

La caisse est alors roulée sous le plateau de la presse, et voici les détails de l'opération qui a été faite devant nous.

0′ — La caisse est en place; on embraie; on place les cliquets.
Un homme tourne au volant à raison de 8 tours par minute en commençant.
On enlève les hausses.

2′ — Un second homme monte et agit avec le premier au volant.

3′ — La pression est terminée, on rabat les quatre côtés du coffre.
La balle a, sous pression, une hauteur de $0^m,45$.
On introduit les fils de fer qui doivent servir à faire les ligatures.

7′ — On commence à lier la balle; les ouvriers sont peu adroits pour l'agrafage.

9′ — Les ligatures sont faites; on remonte le plateau.
Pendant le remontage on bat les attaches.

10′ — On enlève la balle.

11′ — La balle est enlevée; on referme la caisse; on la roule au dehors et on la remplace par une autre.

Le poids de la balle est de $93^k,30$.

Elle mesure $0^m,90 \times 0^m,90 \times 0^m,57 = 0^{mc}461$, et présente par conséquent une densité de

$$93,50 : 0^{mc},461 = 203 \text{ kilog.}$$

La densité sous pression était

$$93,50 : 0^{mc},3645 = 256 \text{ kilog.}$$

On pourrait sans doute perdre moins sur cette densité en se servant, pour cette ligature, de fers feuillards, que M. Wohl assemble très-facilement à l'aide d'une boutonnière allongée et d'un petit mentonnet mobile; mais on a renoncé, dans l'administration militaire, au feuillard, et l'on se sert plus économiquement du fil de fer n° 18, que l'on fait pénétrer facilement après la pression, que l'on coupe sur place à la longueur voulue, et qui peut encore recevoir quelque emploi secondaire lorsqu'on défait les balles pour les mettre en consommation.

Il résulte des indications précédentes que l'opération tout entière est faite en 16 minutes; il est facile à quatre hommes de continuer ce travail pendant 10 heures par jour.

C'est dans ces conditions que la presse a fonctionné pendant 15 jours à Vincennes, et que l'on a obtenu en moyenne 45 balles par jour.

Plusieurs appareils de pressage sont déjà employés par l'administration militaire, et nous avons pu voir, en même temps que la presse Wohl, l'atelier des presses hydrauliques, la presse Poncet, la presse Combes, et une presse de construction anglaise à double cric.

Nous avons d'ailleurs la connaissance personnelle de certaines expériences faites avec les presses construites sous la direction de M. le général Morin, qui s'est tant occupé de cette question dans l'intérêt de l'armée et de l'agriculture.

Il nous a paru fort utile de réunir dans un même tableau toutes les indications que nous avons pu recueillir sur le fonctionnement de ces divers appareils. Elles résultent de nos propres informations à Vincennes et des documents publiés à différentes reprises sur la même question.

Tableau des résultats obtenus avec les divers systèmes de presse à foin.

DÉSIGNATION des APPAREILS.	Dimensions des bottes.	Poids des bottes.	Densité sous pression.	Densité en bottes.	Nombre d'hommes employés.	Nombre de bottes par jour.	Poids correspondant.	Poids par homme et par jour.	MODE D'ACTION des MACHINES.
	mc.	k.	k.	k.			k.	k.	
Presse hydraulique. (Système de 3 presses.)	0.472	142	380	300	35	63	9000	143	1 Piston vertical.
Presse Poncet....	0.457	100	288	202	8	45	1000	100	1 Vis verticale.
Presse Wohl.	0.410	93.5	265	203	4	10	4207	1050	2 Vis horizontales.
Presse Combes....	0.708	115	»	162	6	15	1725	287	1 Crémaillère verticale.
Presse anglaise...	0.641	100	»	156	6	15	1500	250	2 Crémaillères verticales.
Presse Morin.....	0.450	82	171	166	6	30	2460	410	1 Cremaillère verticale.

Ces diverses compressions répondent à des besoins différents.

Dans les transports par mer il importe de réduire le volume autant que possible, et c'est pour cette raison que l'on recourt, dans ce cas, aux presses hydrauliques, qui procurent une densité de 350 à 400 kilog. Pour les transports par chemin de fer, cette limite serait atteinte, sans profit quant aux frais de transport, qui sont payés, pour chaque truc chargé de matières encombrantes, comme si le poids était de 5000 kilogrammes. Le volume du chargement pouvant s'élever jusqu'à 45 mètres cubes, il suffisait donc d'amener le foin à une densité de 5000 : 45 = 111 k. par mètre cube, et c'est cette considération qui a engagé M. le général Morin à ne pas chercher à dépasser la densité de 150 kilogrammes.

Nous pouvons, d'après le tableau qui précède, classer les divers appareils en trois groupes distincts.

1° Les presses hydrauliques qui exigent une installation considérable, tant pour les opérations préparatoires que pour la compression définitive, mais qui réduisent le volume jusqu'à obtenir, sous liens, une densité de 300 kilogrammes, c'est-à-dire au quart du volume primitif;

2° Les presses Poncet et Wohl qui donnent la densité moyenne de 200 kilogrammes;

3° Les appareils qui se contentent de 150 à 160 kilogrammes, pour faciliter seulement les transports sur chemin de fer;

Les presses hydrauliques donnent un faible effet utile pour chaque homme, quand elles sont entièrement manœuvrées à la main. Il faut, dans une installation permanente, les faire fonctionner au manége ou à la vapeur.

Cet effet utile est beaucoup plus grand pour la presse Wohl que pour toutes les autres, et nous attribuons cette différence à la construction irréprochable du coffre qui, en permettant de dégager la balle d'un seul coup, réduit pour ainsi dire au minimum la difficulté que présente l'enlèvement de cette balle dans tous les autres systèmes.

La machine est d'ailleurs bien combinée; elle ne pèse que 1800 kilogrammes, et coûte seulement, avec un coffre de rechange, 3600 francs. Elle se démonte facilement en un grand nombre de pièces légères, et peut être entièrement remontée en 4 heures.

Peut-être les organes d'embrayage et d'arrêt pourraient-ils être fortifiés avec avantage, mais, telle que nous l'avons vue, cette presse est suffisamment portative, elle fait un bon travail, et elle permet de préparer, avec moins d'ouvriers, trois fois autant de fourrage en une journée que par l'emploi de tous les autres systèmes de presses à vis ou à crémaillères.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des Arts et Métiers,

Paris, le 21 juillet 1865.

H. TRESCA.

Vu : le directeur, Général MORIN.

Légende de la planche 35.

La figure 1 représente la machine, vue de face.

La figure 2, vue de côté.

La figure 3 est une coupe verticale que l'on obtient en enle-

vant la moitié antérieure de la presse et en la retournant de manière à placer la face de la coupe en avant du dessin.

A, semelle en bois, aux deux extrémités de laquelle sont assemblées les pièces perpendiculaires A′ qui forment avec la première la base de la machine.

BB, deux montants verticaux, formant avec la traverse C et la semelle A le cadre vertical sur lequel toutes les autres pièces de la presse sont assemblées.

DD, 8 liens en fer rond servant à relier le sommier C avec les pièces A′ A′.

E, caisse ou coffre servant à la compression du foin.

P, piston en fonte entrant dans ce coffre, fixé par un écrou *p* à la crémaillère O.

M, N, volants à manettes destinés à commander la manœuvre de la crémaillère.

G, plancher sur lequel se placent les hommes chargés de cette manœuvre; ils y arrivent par les marches *g g*.

K K, potences qui supportent le plancher G.

K′ K′, potences qui assurent l'assemblage des deux montants BB, avec le sommier C et les pièces A′ A′.

I, Boîte contenant les divers rouages qui composent la transmission; cette boîte est fixée au sommier C par les deux étriers J J, et les écroux *j j*. Cette boîte est percée en haut et en bas de deux orifices armés de guides pour le passage de la crémaillère O.

m, *n*, *q*, *r*, arbres de la transmission.

n, porte le volant N et le pignon *n*.

r, porte le pignon *r* caché derrière la roue *r′*, et cette roue dentée *r′* qui engrène avec le pignon *n*.

m, porte le pignon *m*, caché derrière la roue *m′*, et cette roue dentée *m′* qui engrène avec le pignon *r*.

q, porte le pignon *q* qui engrène avec la crémaillère et la roue dentée *q′* qui engrène avec le pignon précédent *m*.

s, arrêt qui empêche l'arbre intermédiaire de se déplacer dans le sens transversal, soit lorsque son pignon est en prise avec la roue *m′*, soit lorsque ce pignon est amené dans un plan différent de celui de cette roue.

t t′, cliquets de retenue pendant la pression.

La caisse E est formée d'un double fond *e e′*, et de quatre pan-

neaux F F′ F″ F‴, formant volets, et articulés sur le fond *e* au moyen de fortes charnières.

*e*ᵛ *e*ᵛ, tasseaux destinés à porter sur la charpente dès que la pression devient un peu énergique.

Chacun des volets est consolidé par un cadre sur lequel toutes les ferrures sont vissées.

La caisse se ferme au moyen de huit crochets à poignées *l*, assez solides pour empêcher la flexion des pièces, et qui sont d'ailleurs aidés dans cette fonction par les équerres *l′*, qui se rabattent en même temps que les volets F et F′, auxquels ils appartiennent respectivement.

V, hausse de la caisse, assemblée par les oreilles *u u*.

v v, bandes de fer feuillard servant aux ligatures des balles.

H H, rails en fer sur lesquels roulent les galets *h h* de la caisse.

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

FAITES

au Conservatoire impérial des Arts et Métiers

SUR UNE MACHINE A SCIER LA PIERRE DE M. GAY,

PAR M. H. TRESCA.

La machine que M. Gay a fait installer dans la salle des machines en mouvement du Conservatoire impérial des arts et métiers repose sur un principe nouveau, quant à l'application spéciale qu'il a eue en vue.

L'organe qui doit pénétrer dans la pierre est un disque en plomb sur lequel on fait tomber, pendant qu'il tourne dans le trait de scie, un excès d'émeri en poudre entraîné par un filet d'eau.

La pierre à scier est pressée contre ce disque par un poids que l'on peut varier à volonté, de 50 à 70 kilog., et qui agit au moyen de renvois convenables sur le chariot qui est destiné à la supporter. Ce chariot est d'ailleurs mobile sur une voie de fer pour offrir moins de résistance à l'action du contre-poids.

L'émeri est recueilli à mesure qu'il tombe dans une trémie placée sous le disque, et un manœuvre le ramasse au fur et à mesure pour le reporter dans la cuvette d'alimentation. Cette cuvette est de forme triangulaire, percée d'une rainure qui se place exactement au-dessus du trait de scie; l'émeri est entraîné par les parois latérales du disque, et l'on aide encore à cet entraînement en agitant continuellement une spatule engagée dans la cuvette.

Le disque est monté sur un arbre horizontal, de manière à se mouvoir dans un plan bien exactement perpendiculaire à cet arbre. Il est guidé, d'ailleurs, près du bord, par des galets qui

le maintiennent toujours dans le même plan et qui l'empêchent de se voiler.

Le corps du disque est en tôle de 4 millimètres d'épaisseur; il a 1 mètre de diamètre. Il est percé tout au pourtour de deux rangées d'yeux elliptiques, disposés en quinconce, de 0^m,018 et 0^m,010 d'ouverture, le plus petit diamètre étant dirigé suivant les rayons du disque. Ces yeux sont destinés à laisser passer le plomb que l'on coule sur le bord du disque, sous une épaisseur totale de 6 millimètres, et une largeur totale de 0^m,07; l'augmentation de rayon étant seulement de 0^m,04, on voit que cette couronne en plomb recouvre le disque de fer sur une largeur de 0^m,03, et c'est dans la partie correspondante à ces 3 centimètres que le plomb, qui a pénétré dans les yeux en quinconce, sert à réunir les deux joues ainsi rapportées.

Cette couronne de plomb est coulée sur place, par parties, dans un moule à coquilles convenablement ajusté, et les bords des différentes parties sont ensuite réunis par un soudage au chalumeau, de manière à constituer en définitive une couronne d'une seule pièce.

La machine qui vient d'être décrite a été installée de manière à pouvoir mesurer, au moyen d'un dynamomètre de rotation, le travail dépensé, et on s'en est servi successivement pour scier du marbre, de la pierre calcaire dure, du granit, de la pierre meulière et même des rognons de spath fluor.

On n'a pas réussi aussi bien avec ces divers matériaux, mais les trois premiers ont donné lieu à un travail vraiment industriel. Les deux autres se sont laissé entamer, mais irrégulièrement, et l'avancement était fort incertain.

Le marbre sur lequel on a essayé tout d'abord était un bloc blanc de Carrare, fort dur, appartenant à la variété veinée; il avait une épaisseur moyenne de 0^m,319.

La pierre de construction était du calcaire de Grimaux (Yonne), le plus dur de ceux que l'on scie en chantier à Paris. L'échantillon avait une épaisseur de 0^m,105. Le sciage de cette pierre est payé dans le chantier de l'entrepreneur de maçonnerie du Conservatoire à raison de 18 francs le mètre carré par trait de scie. Le granit de Bretagne en échantillon de 0^m,12 d'épaisseur était de la variété dure employée en bordure de trottoir.

La pierre meulière, envoyée pour cette expérience par M. Bou-

chon, de la Ferté-sous-Jouarre, était un carreau, de variété blanche, semblable aux carreaux durs pour meules à blé de cette localité. L'épaisseur de ce carreau était de $0^{m},18$.

Le rognon de spath fluor, veiné de quartz, était de même nature que ceux employés en ce moment pour la confection des pilastres intérieurs du nouvel Opéra. Le sciage de cette pierre se paie cinq fois aussi cher que celui du marbre.

Dans chaque expérience, on a cherché à enregistrer : 1° la vitesse de l'arbre du disque; 2° l'avancement dans un temps donné; 3° la vitesse de la poulie motrice du dynamomètre; 4° l'effort moyen transmis, mesuré au moyen du relevé des diagrammes du dynamomètre; mais on n'a pu toujours obtenir la totalité de ces renseignements, et le tableau suivant renferme tous les résultats qui répondent le mieux à ce programme.

Tableau des expériences faites sur la machine à scier la pierre de M. Gay.

DATES des EXPÉRIENCES.	NATURE DE LA PIERRE et expérience.	NOMBRE DE TOURS du disque par minute.	AVANCEMENT en millimètre par seconde.	ÉPAISSEUR de la pierre.	SURFACES DE SCIAGE en millimètre quarré par seconde.	LONGUEUR TOTALE du trait.	NOMBRE DE TOURS du dynamomètre par minute.	EFFORT MOYEN accusé par les diagrammes.	TRAVAIL DÉPENSÉ en chevaux.	NOMBRE de kilogrammètres correspondant à une surface de sciage de 1 m. q.	TEMPS CORRESPONDANT à une surface de 1 m. q.
								kil.	ch.		minute.
12 mai..	Marbre de Carrare.	90	0.63	319	201	850	74	»	»	»	86
12 mai..	Id.........	90	0.74	319	236	252	72	»	»	»	71
15 mai..	Id.........	93	0.70	319	223	850	76	»	»	»	72
16 mai..	Id.........	99	0.55	319	175	850	78	97.15	4.98	2129178	95
16 mai..	Pierre de Grimaux.	101	1.70	105	178	860	83	94.23	5.05	2137108	94
19 mai..	Granit de Bretagne.	87	0.24	120	29	94	73	115.87	4.70	12145940	574.7
23 mai..	Pierre meulière ..	104	très-variable	»	»	5	»	»	»	»	»
24 mai..	Pierre meulière...	104	0.025	»	»	120	85	»	»	»	»
4 juin.	Spath fluor......	»	»	»	»	50	»	»	»	»	»

Ces chiffres pourront donner un premier aperçu des éléments économiques de la question; mais, pour ne la considérer qu'à un point de vue plus général, les expériences prouvent :

1° Que, pour le marbre et le calcaire de Grimaux, le sciage se fait très-bien et sans altération notable du disque; seulement la largeur du trait de scie est notablement plus grande que par le sciage à la main; il mesure 0m,010 à 0m,011. On parviendra sans doute à réduire cette largeur du trait en employant les disques en tôle d'acier que M. Gay fait construire en ce moment.

Au moment de la première attaque de la pierre, il faut avoir soin d'alimenter abondamment avec de l'émeri mouillé. Le moindre oubli à cet égard compromet la couronne de plomb, dont les copeaux, lorsqu'ils sont tombés dans le trait de scie, paraissent présenter un obstacle invincible à tout avancement ultérieur.

2° Que, pour le granit, le danger est encore beaucoup plus grand sous ce rapport, et l'avancement souvent irrégulier ne dépasse pas, avec l'appareil actuel, un quart de millimètre par seconde. Plusieurs fois on a pu constater un avancement de 0m,022 par minute. La machine pourra sans doute être perfectionnée de manière à fournir encore des résultats pratiques avec des matières de cette nature.

L'émeri n° 6, neuf, est celui qui a le mieux réussi pour cette opération.

Pour les pierres plus dures, veinées de parties plus dures encore, le travail n'a pas été, dans l'état actuel des choses, vraiment pratique.

La couronne était souvent attaquée par les arêtes vives de la pierre; il fallait alors arrêter le travail, nettoyer le trait avant de le reprendre, et souvent tourner à nouveau le bord de la couronne.

Cependant le trait de scie dans la meulière était bien dressé et d'une largeur moyenne de 0m,012. Dans le spath, au contraire, le trait était aussi large que profond. Il y aurait lieu d'essayer, dans ce cas, des couronnes en zinc ou en cuivre rouge, qui seraient évidemment moins attaquées par les arêtes de la pierre.

Au point de vue de l'ajustage et de la consolidation, la machine de M. Gay demanderait à être modifiée dans ses détails; mais elle fonctionne, pour les pierres de la dureté du marbre,

avec une grande rapidité et avec une perfection très-suffisante. Son mode de fonctionnement est en lui-même très-curieux, et ces premiers essais semblent présager que l'inventeur en pourra tirer un parti utile.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des Arts et Métiers.

Paris, 24 juillet 1865.

H. TRESCA.

Vu : le directeur, Général MORIN.

LÉGENDE DE LA PLANCHE 36.

Fig. 1, coupe longitudinale de la machine.

Fig. 2, élévation du côté où se trouve le chariot portant la pierre à scier.

A A deux supports en bois reliés aux semelles horizontales BB, par l'intermédiaire des jambes de force *bb*.

C arbre de la machine portant à la fois le disque D, servant de scie, et le volant E formant poulie motrice.

D' saillie de la couronne de plomb coulée sur le disque en tôle.

cc galets destinés à guider le disque dans son plan.

c' guide en fer destiné au même objet.

E petit réservoir d'eau, avec son tuyau *f* en caoutchouc, dirigé de manière à entraîner l'émeri contenu dans la cuiller fendue G, que l'on maintient à la même place malgré l'avancement de la pierre.

H chariot mobile sur les plates-bandes en fer *hh*.

K poids variable destiné à déterminer l'avancement du chariot au moyen d'une petite courroie guidée par les galets *kk*.

L bloc à scier fixé sur le chariot à l'aide des boulons *ll*, de la traverse inférieure *m*, des deux plaques supérieures *m'm'*, laissant entre elles le passage libre pour la scie et pour la cuiller, et des deux montants mobiles *nn*, forçant les plaques *m'm'* à pincer sur le bloc.

N boîte destinée à recueillir l'émeri mouillé au fur et à mesure du sciage.

P boîte renfermant toute la machine.

ÉTUDE

SUR

L'ACIDE CHLORHYDRIQUE ARSENIFÈRE

DU COMMERCE,

PAR M. AUGUSTE HOUZEAU.

Depuis l'emploi des pyrites de fer dans la fabrication de l'acide sulfurique, on sait que la teneur de cet acide en arsenic a beaucoup augmenté, et par une conséquence fort naturelle les produits industriels préparés avec le vitriol ont vu également s'élever la proportion du principe arsenical qu'ils peuvent entraîner. Tel est principalement le cas pour l'acide chlorhydrique. Mais le nombre très-restreint des dosages auxquels l'arsenic de cet acide a été soumis et surtout leur discordance, puis la contradiction non moins grande des chimistes les plus distingués relativement à l'état sous lequel cet arsenic s'y rencontre, et enfin l'inefficacité ou la complication de la seule méthode connue pour le purifier, étaient autant de raisons qui militaient en faveur d'un nouvel examen de la question. C'est ce que j'ai essayé d'accomplir dans le mémoire que j'ai l'honneur de publier aujourd'hui.

Mon travail, exécuté dans le laboratoire de chimie de l'école des sciences de Rouen, se divise en trois parties qui correspondent chacune à un des problèmes suivants :

1° Déterminer la teneur de l'acide chlorhydrique du commerce en arsenic ;

2° Préciser la forme sous laquelle l'arsenic y existe;

3° Donner une nouvelle méthode simple et rapide de purification de l'acide muriatique arsenifère du commerce.

I

DÉTERMINATION DE LA TENEUR DE L'ACIDE CHLORHYDRIQUE EN ARSENIC.

Pour résoudre cette question, je songeai d'abord à la méthode ordinaire du dosage de l'arsenic à l'état de sulfure, par sa précipitation à l'aide de l'hydrogène sulfuré; mais les nombres assez peu concordants que j'obtins, la lenteur des manipulations et surtout le peu de sensibilité de cette méthode me la firent bien vite abandonner[1]. J'y substituai avec avantage un nouveau procédé fondé sur le pouvoir réducteur de l'hydrogène arsenié vis-à-vis du nitrate d'argent et déjà employé avec succès par M. Lassaigne pour apprécier qualitativement l'arsenic dans les cas d'empoisonnement. On sait, en effet, qu'en présence de ce sel d'argent, l'hydrogène arsenié passe subitement à l'état d'eau et d'acide oxygéné en même temps que de l'argent métallique se précipite.

Il m'a semblé que ce dépôt d'argent pouvait être proportionnel à la quantité d'arsenic réagissant à l'état d'hydrure gazeux, et qu'il suffisait d'en apprécier le poids par la méthode volumétrique de Gay-Lussac ou de Morh pour connaître de suite celui de l'arsenic correspondant.

Basée sur ce principe, ma méthode devait donc comprendre les phases suivantes :

1° La conversion de l'arsenic en hydrogène arsénié;

2° L'absorption de l'hydrogène arsénié par le nitrate d'argent titré;

3° Son évaluation en chlorure d'arsenic d'après l'argent précipité, c'est-à-dire d'après l'argent manquant à la dissolution métallique titrée.

1. En traitant l'acide chlorhydrique du commerce étendu de son volume d'eau par l'hydrogène sulfuré, une partie de ce gaz est décomposée, et il se précipite du soufre qui s'ajoute au sulfure d'arsenic et de fer. De là la nécessité, après avoir expulsé l'excès de gaz sulfuré par un courant d'hydrogène, et avoir laissé reposer le précipité pendant 12 heures, de le recueillir sur un double filtre taré, de le peser après dessiccation, et de le traiter de nouveau par l'ammoniaque pour dissoudre le sulfure d'arsenic dont on apprécie le poids par différence.

Voici la manière de procéder :

On commence par mesurer un décilitre de l'acide commercial à essayer, et à verser dedans, goutte à goutte, du permanganate de potasse, jusqu'à ce que l'acide se colore nettement en rose. Cette addition du manganate a pour but de détruire l'acide sulfureux qui existe presque toujours dans les acides muriatiques du commerce et dont la présence entraverait ultérieurement la conversion du principe arsenical en hydrogène arsénié. En même temps, l'arsenic de l'acide passe au maximum d'oxydation.

Après ce traitement, l'acide commercial est introduit par fractions dans un petit appareil à hydrogène formé d'une éprouvette à pied de 150^{cc} environ de capacité dont le bouchon donne passage, suivant l'usage ordinaire, à deux tubes, l'un vertical et l'autre courbé à angle droit. Ce dernier, d'un plus large diamètre (environ 0^{m},013) est dans sa partie verticale, qui ne dépasse pas 0^{m},20 de longueur, rempli de fragments de soude caustique ou de chaux vive maintenue entre deux gros tampons d'amiante. Sous l'influence du zinc non arsenifère (environ 35 grammes) mis d'avance avec un peu d'eau dans l'appareil à hydrogène, l'acide chlorhydrique donne lieu à un dégagement d'hydrogène qui réduit l'acide arsénique et le transforme en hydrogène arsénié. Ce gaz est immédiatement absorbé par 2 ou 3^{cc} d'une dissolution de nitrate d'argent étendue de 2 à 3 fois son volume d'eau et contenue dans un tube fermé par un bout (large de 0^{m},014, long de 0^{m},360) qui communique avec un tube semblable renfermant le même volume de la dissolution d'argent titrée destinée à retenir les traces du principe arsenical qui auraient pu échapper à l'action du premier tube. En général, l'absorption de l'hydrogène arsénié est instantanée. Il est même rare que la dissolution métallique du deuxième tube éprouve une altération quelconque[1]. Il faut, pour qu'il en

1. Il est vrai que quelques chimistes, entre autre M. Brunner, prétendent que l'hydrogène pur réduit seul le nitrate d'argent. J'avoue n'avoir pas eu l'occasion d'observer ce phénomène, du moins dans les limites de durée de mes expériences et dans les conditions où je me suis placé. Cependant comme d'autres gaz que l'hydrogène arsénié, par exemple l'hydrogène phosphoré, sulfuré, antimonié, réduisent les sels d'argent, il est bon de se tenir en garde contre ces causes d'erreur, en essayant préalablement à blanc, s'il était suspect, le zinc avec de l'acide chlorhydrique pur, et, autant que possible, dans les mêmes conditions de lumière et de chaleur.

soit autrement, que l'hydrogène se dégage avec une rapidité extraordinaire ou que la liqueur du premier tube se trouve épuisée.

La liqueur d'argent peut être neutre ou faiblement acide; celle que j'emploie contient par centimètre cube 0g,0305 d'argent précipitant, 0g,010 de chlore ou 0g,0165 de chlorure de sodium.

On la titre avant et après l'action de l'hydrogène arsenié avec une dissolution de sel marin, qu'on verse dans le tube même où se fait l'absorption de l'arsenic par le nitrate d'argent[1]. Par l'agitation, le chlorure d'argent se dépose rapidement. (Procédé Gay-Lussac.)

La liqueur salée doit contenir environ 1g,65 de sel par litre d'eau.

En opérant toujours dans les mêmes conditions, c'est-à-dire en n'employant à la fois que 2cc ou 3cc de la dissolution d'argent dans chaque tube et avec des liqueurs arsenicales dont la teneur en arsenic variait seulement du simple au double, l'expérience m'a montré que l'appauvrissement de la liqueur métallique en argent précipitable par le chlorure de sodium sous l'influence de l'hydrogène arsenié était proportionnelle à l'arsenic réagissant.

Toutefois, les auteurs n'étant pas d'accord sur le résultat de la réduction du nitrate d'argent par l'hydrogène arsénié, puisque les uns croient à une formation d'acide arsénique (Lassaigne, d'après MM. Pelouze et Fremy, *Traité de Chimie*) et les autres à une production d'acide arsénieux ou d'arsenite d'argent selon les quantités respectives d'argent et d'arsenic (H. Rose, *Chimie analytique*), j'ai cru devoir déterminer directement par l'expérience la quantité d'argent que pouvait précipiter un poids donné d'arsenic une fois transformé en hydrogène arsénié.

En effet, en ajoutant à 100cc d'acide hydrochlorique fumant et exempt d'arsenic 0g,009 de chlorure d'arsenic ($AsCl^3$) sous forme de dissolution chlorhydrique titrée d'acide arsénieux et soumettant cet acide arsenifère à l'action du zinc pur, on a trouvé les résultats suivants :

1. Cependant, quand le dépôt d'argent est trop abondant, il y a avantage à jeter la liqueur sur un tout petit filtre de 2 à 3 centimètres de hauteur, et à le laver avec une vingtaine de centimètres cubes d'eau, y compris le lavage des tubes.

Nitrate d'argent neutre titré pour absorber $As H^3$:

		Na Cl titre (1)
2^{cc} = Ag 0gr,061 = Cl 0gr,020..	avant $As H^3$ = ...	23^{cc},0
	après $As H^3$..............	14,7.
D'où liqueur salée dont l'argent équivalent a été soustrait au nitrate d'argent normal par $As H^3$ =..................		8^{cc},3

équivalant à 0g,009 $As Cl^3$.

D'où 1^{cc} de l'eau salée représente 0g,0011 de chlorure d'arsenic $As Cl^3$.

Une deuxième expérience fournit un résultat semblable[2].

En répétant l'expérience avec une quantité double de chlorure d'arsenic on retrouve l'excédant d'arsenic, en le calculant d'après les titrages précédents.

Ainsi :

	I	II
Chlorure d'arsenic mis dans 100^{cc} d'acide chlorhydrique pur........................	0g,009	0gr,0180
Chlorure d'arsenic trouvé..................	0g,009	0gr,0175
Différence............	0g,000	0gr,0005

Même résultat avec ou sans addition de permanganate de potasse dans 100^{cc} d'acide chlorhydrique additionnés d'arsenic.

Exemple :

	Avec permanganate.	Sans permanganate.
Chlorure d'arsenic mis dans 100^{cc} d'acide chlorhydrique pur............	0g,0180	0g,0180
Chlorure d'arsenic trouvé...........	0g,0177	0g,0180
Différence......	0g,0003	0g,0000

1. C'est-à-dire la quantité d'eau salée nécessaire pour précipiter à l'état de chlorure tout l'argent de la liqueur titrée.

2. Toutefois si, la proportion d'arsenic ne variant pas, on augmentait du triple la quantité d'argent, les résultats ne seraient plus concordants.

Exemple : 100^{cc} d'acide chlorhydrique contenant 0g,009 de chlorure d'arsenic et traité dans l'appareil de Marsh ont fourni de l'hydrogène arsenié qu'on a absorbé par 6^{cc} d'argent. Le titrage de la dissolution métallique a donné 0g,0174 de chlorure d'arsenic au lieu de 0,009. C'est que, dans ce cas, outre l'argent réduit, il se précipite aussi de l'arsenite d'argent qui paraît moins soluble dans le nitrate en excès que dans l'eau pure. Cet inconvénient ne s'observe pas, au contraire, quand les 6^{cc} de la dissolution d'argent sont étendus d'une quantité suffisante d'eau.

Même résultat avec de l'acide arsenifère additionné d'acide sulfureux et ensuite de permanganate de potasse jusqu'à l'apparition du rose persistant.

Exemple :

Chlorure d'arsenic mis		$0^g,0090$
Id.	retrouvé	$0^g,0088$
	Différence	$0^g,0002$

Au contraire, perte énorme d'arsenic avec le même acide rendu sulfureux et sans addition de permanganate.

Exemple :

Chlorure d'arsenic mis		$0^g,0090$
Id.	retrouvé	0,0010
	Différence	$0^g,0080$

Enfin, résultats toujours satisfaisants du dosage de l'arsenic dans un acide du commerce inconnu avant comme après une addition connue d'arsenic.

Exemple :

Chlorure d'arsenic trouvé dans 100^{cc} d'un acide commercial arsenifère à composition inconnue	avec addition de $0^g,009$ $AsCl^3$	$0^g,01260$
	sans addition d'arsenic	$0^g,00306$
Différence représentant l'arsenic ajouté		$0^g,00954$
Chlorure d'arsenic ajouté		$0^g,00900$
Différence		$0^g,00054$

En comparant, sous le rapport de la sensibilité et de la célérité, ce procédé volumétrique avec l'ancienne méthode de dosage de l'arsenic à l'état de sulfure, on reconnaît bien vite les avantages du premier de ces procédés sur le second.

Dans un acide hydrochlorique auquel on avait ajouté par demi-litre $0^g,018$ de chlorure arsenical, on a trouvé :

	Chlorure d'arsenic.
Par la méthode des volumes..............................	0g,01766
Par la méthode de la pesée à l'état de sulfure[1]..........	0g,020

Toutefois, les résultats de ce procédé de dosage ne sont exacts qu'autant que la détermination de l'arsenic d'un acide commercial s'accomplit dans les mêmes conditions de volume des liqueurs que le titrage direct de la dissolution d'argent avec une quantité connue de chlorure d'arsenic dilué dans un volume déterminé d'eau ou d'acide.

L'exemple suivant montre l'erreur que l'on peut commettre en s'écartant de cette prescription.

	CHLORURE D'ARSENIC.		
	mis.	trouvé.	pertes.
En opérant sur 100cc d'acide pur................	0g,018	0g,0175	0g,0005
Id. 100cc id. additionné de 300cc d'eau	0g,018	0g,0130	0g,0050

Ainsi les diverses épreuves synthétiques auxquelles j'ai soumis mon procédé de dosage de l'arsenic dans les acides chlorhydriques du commerce ayant fourni des résultats satisfaisants, il m'a été possible de me livrer en toute sûreté à la détermination du principe arsenical des différents échantillons commerciaux que j'ai pu me procurer. Mes résultats sont insérés dans le tableau suivant.

1. Voici les détails : Liquide employé = 400cc.

Poids du mélange de soufre et de sulfure recueillis sur filtres tarés....................................	0g,024
Poids du résidu insoluble après le lavage à l'ammoniaque.	0g,013
D'où sulfure d'arsenic dissous............	0g,011

Correspondant à 0g,0162 de chlorure d'arsenic.

Soit pour 500cc de liquide, chlorure d'arsenic trouvé = 0g,020

Mais il faut ajouter que l'on a exécuté ce dosage en opérant sur 400cc de la liqueur totale, tandis que la détermination de l'arsenic par la liqueur d'argent n'a été effectuée que sur 100cc de la même liqueur arsenifère.

Chlorure d'arsenic contenu dans l'acide chlorhydrique du commerce.

DÉSIGNATION DES ACIDES.	CHLORURE D'ARSENIC $AsCl^3$	
	par litre d'acide.	par kilogr. d'acide.
	gr.	gr.
Acide chlorhydrique marquant 21° Baumé de l'une des fabriques des environs de Rouen 1864.....	0.0306	0.0262
Acide de même provenance, mais d'une autre livraison..............................	0.0345	0.0295
Acide à 21° de même provenance et prélevé dans la première bonbonne, en tête de l'appareil, le plus près du four à décomposition du sel. 1864.	0.0320	0.0274
Acide à 21° prélevé au même instant dans la 26me bonbonne suivante.......................	0.0810	0.0694
Acide moyen provenant du mélange d'une fraction de toutes les touries.....................	0.0305	0.0261
Acide purifié, vendu comme non arsenifère par une maison de Paris.........................	0.0050	0.0043
Acide commercial d'une fabrique du département de l'Aisne.............................	0.0620	0.0531
Acide de même provenance rouennaise, mais pris à des phases différentes de la fabrication (acide pyriteux, sel de l'Orient) :		
Acide de la première phase.		
(Calcination du mélange jusqu'à l'état pâteux, dans la cuvette en fonte, température peu élevée).		
Dans les touries les plus rapprochées de la source du gaz chlorhydrique........................	0.0381	0.0327
Dans les touries les plus éloignées de ladite source.	0.0910	0.0780
Acide de la deuxième phase.		
(Calcination dans un four à une température élevée de la masse pâteuse, mélange de bisulfate et de sel marin) :		
Acide à degré faible........................	0.0200	0.0171
Acide condensé dans les tuyaux qui conduisent le gaz acide de sa source aux vases à condensation.	0.0322	0.0276
Acide d'origine anglaise......................	traces.	traces.
Soit en moyenne...............	0g.040[1]	0g.0355

Mes devanciers dans cette question avaient trouvé :

1. Dans l'extrait de mon mémoire inséré dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, cette moyenne s'élevait à 0gr,1. Des dosages ultérieurs plus nombreux et plus parfaits m'ont conduit à modifier cette donnée primitive.

	CHLORURE D'ARSENIC. par kilogr.
Acide analysé par Dupasquier (1841) [1]	1g,830
Id. par MM. Filhol et Lacassin (1863) [2]	2g,194
Autre acide id. id. id.	4g,057
Autre acide id. id. id.	9g,304

En admettant seulement le résultat moyen de mes analyses, on voit d'après la production française de cet acide, estimée annuellement par M. Payen à environ 70 millions de kilogrammes, qu'il est versé chaque année dans la circulation, depuis la substitution des pyrites au soufre de Sicile, la masse de 2,000 à 3,000 kilogrammes de chlorure d'arsenic, en grande partie disséminée sous forme occulte et à l'état de produits variés dans les pharmacies, les laboratoires de chimie, les ateliers du teinturier et de l'indienneur, dans les distilleries de grains ainsi que dans les fermes.

On comprend donc l'intérêt que devait présenter la recherche d'un procédé simple de purification de cet acide, pouvant à la fois le débarrasser d'un agent toxique fort dangereux et rendre disponible pour l'industrie une matière, l'arsenic, actuellement perdue et dont l'un des composés, l'acide arsénique, est fort recherché en ce moment pour la préparation de certains principes colorants extraits du goudron.

La question semblait même prendre un certain caractère d'urgence par les inconvénients qu'offrent les méthodes générales de purification usitées jusqu'à ce jour, et à l'aide desquelles on concentre dans un faible volume de l'acide pur[3] tout l'arsenic de l'acide ordinaire.

Ces inconvénients étaient d'autant plus graves que l'acide chlorhydrique est, on le sait, fréquemment employé dans les

1. Dupasquier. — Mémoire sur la présence de l'arsenic dans certains acides chlorhydriques du commerce.

2. Filhol et Lacassin. — Note sur les quantités d'arsenic contenues dans les acides du commerce. *Journal de Pharmacie et de Chimie*. T. 42, p. 402. Dans cette note, les auteurs ne décrivent pas le procédé de dosage qu'ils ont suivi.

A. H.

3. Dans un litre d'acide fumant préparé en absorbant par l'eau distillée le gaz chlorhydrique fourni par plusieurs litres d'acide ordinaire chauffés à l'ébullition, il m'est arrivé de doser jusqu'à 0g,501 de chlorure d'arsenic.

opérations de chimie légale, surtout pour rechercher l'antimoine et l'arsenic.

Enfin, l'exactitude des essais de manganèse et des chlorures décolorants avec la liqueur chlorométrique de Gay-Lussac, la recherche et le dosage de l'acide phosphorique par le procédé du Conservatoire des arts et métiers peuvent être compromis en employant de pareils acides arsenifères quoique purifiés.

Cette urgence d'un procédé nouveau pour débarrasser l'acide du commerce de l'arsenic qu'il contient était même aussi commandée par l'inefficacité ou la complication de la seule méthode spéciale de purification indiquée dans les traités de chimie les plus récents.

C'est, en effet, en distillant de l'acide muriatique après en avoir précipité le produit arsenical sous forme de sulfure par l'hydrogène sulfuré ou le sulfure de baryum, qu'on recommande de le purifier. Mais, outre que l'acide recueilli contient du soufre, il renferme encore souvent des petites quantités d'arsenic, dont on ne peut le priver par des distillations répétées. Cela provient de la décomposition même qu'éprouve le sulfure d'arsenic sous l'influence d'une grande masse d'acide chlorhydrique chaud. Il faut donc avant de le distiller le séparer du sulfure insoluble par voie de filtration, ce qui exige en général beaucoup de temps, et encore le produit distillé contient-il toujours du soufre.

Sans doute, quand on dispose de grandes quantités d'acide sulfurique non arsenifère, aucune préparation n'est plus sûre que celle de l'acide chlorhydrique pur. Mais quand on ne se trouve pas dans ces conditions, ce qui est le cas le plus général, la production d'un assez grand volume de vitriol privé d'arsenic ne laisse pas que d'être délicate, malgré la simplicité du procédé recommandé par M. Regnault au nom d'une commission de l'Académie des sciences[1], et que dans ces derniers temps MM. Bussy et Buignet ont régularisé par d'ingénieuses observations dont j'ai eu l'occasion de constater toute l'exactitude. D'ailleurs, on sait que 98 (2 eq.) de vitriol ne dégagent que

1. *Rapports sur divers Mémoires* relatifs à l'appareil de Marsh dans les recherches de médecine légale, au nom d'une commission composée de MM. Thenard, Dumas, Boussingault et Regnault, rapporteur. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*; t. XII, p. 1076.

37 (1 eq.) d'acide chlorhydrique. On voit donc par ce qui précède que la préparation, de l'acide chlorhydrique pur méritait un nouvel examen.

II

ÉTAT SOUS LEQUEL L'ARSENIC SE TROUVE DANS L'ACIDE CHLORHYDRIQUE DU COMMERCE.

Avant de rechercher un moyen de purification de l'acide arsenifère, il était nécessaire de s'assurer sous quelle forme se trouvait l'arsenic dans cet acide, d'autant plus que les auteurs sont loin d'être d'accord sur cette question. Les uns admettent que l'acide commercial contient de l'acide arsenieux ou de l'acide arsénique, opinion justifiée pour ainsi dire par les travaux de Gay-Lussac sur l'essai des chlorures décolorants, et dans lesquels l'illustre chimiste considère sa liqueur chlorométrique comme une dissolution chlorhydrique d'acide arsenieux. (Gay-Lussac, H. Rose, MM. Pelouze et Fremy. *Traité de chimie*, article : Acide chlorhydrique.) Les autres, au contraire, supposent le principe arsenical comme s'y trouvant à l'état de chlorure. (Dupasquier, Mémoire déjà cité; Berzélius, MM. Malagutti et Wurtz. *Traité de chimie*, article : Acide chlorhydrique.)

En présence d'aussi grandes contradictions, le doute était permis et c'était à l'expérience seule de le dissiper.

D'ailleurs, en discutant les observations de Dupasquier, on voit qu'elles ne prouvent pas que l'arsenic soit à l'état de chlorure dans l'acide commercial; elles indiquent seulement que c'est sous cette forme qu'il y arrive et qu'il en sort ensuite quand on distille l'acide. Mais comme le chlorure d'arsenic au contact de l'eau se transforme en acide arsenieux et en acide chlorhydrique, on devait se demander si, au moment de la condensation de l'acide dans l'eau lors de sa fabrication, le chlorure d'arsenic ne pouvait pas éprouver cette métamorphose et rester composé oxygéné dans l'acide froid pour redevenir chlorure sous l'influence de la chaleur. Le savant chimiste de Lyon montre, en effet, que de l'acide arsenieux, ajouté à de l'acide muriatique qu'on distille, passe entièrement dans les produits condensés, où il n'a pu se rendre qu'à l'état de chlorure.

La question à résoudre était donc de savoir si, dans l'acide

muriatique du commerce, l'arsenic s'y rencontrait à la température ordinaire sous forme d'acide arsenieux ou de chlorure, le problème ayant été résolu par Dupasquier pour l'acide chaud. Dans cette intention, j'ai soumis à une évaporation dans le vide sec obtenu avec des fragments de soude fondue et à la température de 15° de l'acide chlorhydrique arsenifère concentré ou faible. Le résidu fixe essayé à l'appareil de Marsh, ou par l'hydrogène sulfuré, ne m'a jamais offert de traces d'arsenic.

En dissolvant dans un volume donné d'acide chlorhydrique non arsenifère un poids connu d'acide arsenieux, je n'ai jamais pu également retrouver d'arsenic dans le résidu de l'évaporation dans le vide sec à 15°. Donc l'arsenic s'était dégagé sous forme de chlorure.

Exemple :

Tare de la capsule	16g,583
Acide arsenieux employé	0g,050
Acide muriatique fumant ajouté	7cc
Poids de la capsule et du résidu fixe après l'évaporation	16g,585
A déduire le poids de la capsule	16g,583
D'où résidu fixe non arsenifère	0g,002

Le résultat est encore le même quand on opère avec de l'acide dilué.

Mais si l'on fait usage d'une proportion d'acide arsenieux supérieure à celle que l'acide chlorhydrique peut dissoudre, l'excédant de l'arsenic non dissous se retrouve dans le résidu fixe, et il passe à la distillation dans le vide, sous forme de chlorure, une quantité d'arsenic proportionnelle à l'hydracide.

Exemple :

Acide arsenieux pulvérisé	0g,05
Acide chlorhydrique non arsenifère	1cc
Eau	6cc
Résidu fixe retrouvé	0g,012
D'où acide arsenieux volatilisé	0g,038

Il n'y a donc pas de doute possible sur la conversion de l'acide arsenieux en chlorure par sa simple dissolution à froid dans l'acide muriatique. A cet égard, l'acide arsenical se comporte vis-à-vis de l'hydracide comme un véritable oxyde métallique. C'est donc à l'état de chlorure ($As\,Cl^3$) que l'arsenic existe dans les acides chlorhydriques du commerce préparés avec du vitriol arsenifère.

Ce point une fois établi, il s'agissait de savoir par quel moyen rapide et sûr on pourrait séparer l'acide hydrochlorique de son impureté arsenifère. Ce procédé est très-simple quand on peut se contenter d'un acide faible. Il suffit de faire bouillir dans un matras à fond plat l'acide impur jusqu'à réduction aux $\frac{2}{3}$ du volume primitif. Tout l'arsenic disparaît avec le tiers réduit en vapeur. L'acide résidu ne contient plus que les impuretés fixes (telles que : sulfates, acide sulfurique, chlorures) dont on le débarrasse, si nécessité il y a, par les procédés ordinaires.

Pour obtenir au contraire de l'acide concentré, on doit rendre fixe son arsenic et en séparer le gaz chlorhydrique par la distillation. On atteint ce but en transformant le chlorure d'arsenic volatil en acide arsénique fixe par un courant de chlore dégagé au sein même de l'acide muriatique, comme le prouvent les expériences ci-dessous et comme l'explique l'équation qui les suit.

Expérience faite à chaud.

On sature directement de chlore ou indirectement par l'addition d'une petite quantité de chlorate de potasse une certaine proportion d'acide chlorhydrique très-arsenifère. On fait bouillir. Le gaz chlorhydrique recueilli dans l'eau fournit un acide fumant ne contenant pas de traces d'arsenic même à l'appareil de Marsh (on a soin de le dépouiller du chlore qu'il peut contenir), tandis que l'acide résidu évaporé à siccité, repris par l'eau et neutralisé par l'ammoniaque fournit un précipité rouge brique par l'azotate d'argent. Même résultat avec une dissolution chlorhydrique d'acide arsenieux.

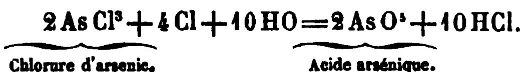
Expérience faite à froid.

On a évaporé dans le vide sec une dissolution chlorhydrique d'acide arsenieux et de chlorate de potasse faite dans les proportions suivantes :

Acide arsenieux....	$0^g,05$	devant fournir acide arsénique.......	$0^g,058$
Chlorate de potasse..	$0^g,05$	id chlorure de potassium...	$0^g,030$
Acide chlorhydrique.	5^{cc} $0^g,088$ ci	....	$0^g,088$
Poids du résidu fixe après évaporation dans le vide sec..........			$0^g,104$
A déduire humidité retenue par le résidu et chassée à l'étuve à 110°.			$0^g,020$
D'où résidu fixe et sec obtenu $0^g,084$ ci....................			$0^g,084$
		Différence....................	$0^g,004$

Le résidu fixe est déliquescent et précipite abondamment en rouge brique par le nitrate d'argent ammoniacal.

On se rend d'ailleurs aisément compte du rôle oxydant[1] que joue le chlore vis-à-vis du chlore d'arsenic par l'équation :



$$\underbrace{2\,AsCl^3}_{\text{Chlorure d'arsenic.}} + 4\,Cl + 10\,HO = \underbrace{2\,AsO^5}_{\text{Acide arsénique.}} + 10\,HCl.$$

Mais si nets que soient ces résultats, leur application dans la recherche d'une méthode de purification de l'acide arsenifère m'a néanmoins présenté de sérieuses difficultés. C'est qu'en effet l'acide arsénique produit peut, à la suite d'une ébullition avec l'acide chlorhydrique, passer de nouveau à l'état de chlorure volatil[2]. On n'évite cet inconvénient qu'en opérant la distillation de l'acide arsenifère en présence d'un excès constant de chlore. Aussi, pour atteindre ce résultat d'une manière convenable et pour se débarrasser du chlore, faut-il faire usage d'appareils particuliers dont il me reste à donner la description détaillée.

1. Nous avons tenu ici à copier fidèlement les données de l'expérience. Mais il se pourrait que la réaction du chlore fût plus compliquée qu'elle ne paraît l'être en réalité. Il n'est pas impossible qu'il se forme un perchlorure d'arsenic encore inconnu ($As\,Cl^5$) correspondant à l'acide $As\,O^5$, et que l'eau transformerait en ce dernier acide, de même que $As\,Cl^3 + 3\,HO = As\,O^3 + 3\,H\,Cl$.

2. Quoique l'existence du chlorure arsénique $As\,Cl^5$ correspondant à l'acide arsénique $As\,O^5$ ne soit pas encore acceptée, il résulte néanmoins d'un certain nombre de faits observés dans le cours de ce travail que cette existence n'est pas douteuse pour moi. Parmi ces faits, le suivant me paraît significatif. Quand on fait bouillir de l'acide arsénique pur, mais surtout privé d'acide arsenieux, avec de l'acide hydrochlorique pur, il distille de l'arsenic avec le gaz chlorhydrique, mais sans aucun dégagement de chlore appréciable à l'indigo. Évaporé au bain-marie, ce mélange d'arsenic et d'acide laisse un résidu qui précipite en rouge brique par le nitrate d'argent ammoniacal : preuve de la présence de l'acide arsénique. En répétant l'expérience avec de l'acide arsenieux, on obtient un résidu qui, au contraire, précipite en jaune par le sel d'argent. Dans le premier cas, il a donc fallu que l'arsenic passât à la distillation sous forme de chlorure arsénique ($As\,Cl^5$) que l'eau a immédiatement changé en acide arsénique $As\,O^5$, tandis que dans le second cas, le chlorure arsenieux produit s'est transformé en acide arsenieux $As\,O^3$ sous la même influence.

III

PURIFICATION DE L'ACIDE CHLORHYDRIQUE ARSENIFÈRE.

Préparation de l'acide faible.

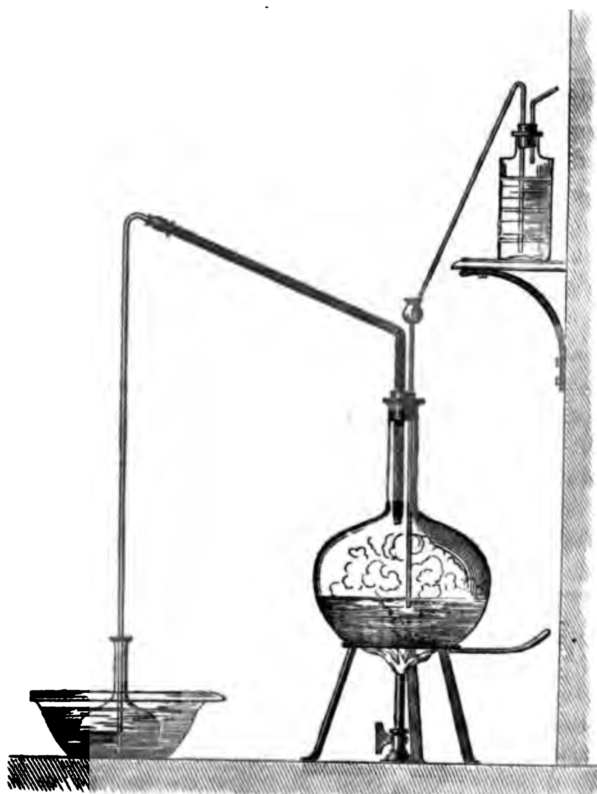
Il suffit, comme on vient de le voir, de faire bouillir l'acide arsenifère du commerce dans une fiole à fond plat[1], jusqu'à réduction aux 2/3 du volume primitif de l'acide. Quand on ne cherche pas à recueillir le gaz chlorhydrique qui se dégage, tout l'arsenic l'accompagne aisément sous forme de chlorure ($AsCl^3$), et le liquide qui reste dans la fiole n'est plus arsenifère. Trois litres d'acide du commerce, traités de cette manière, fournissent, en moins de trois heures, deux litres d'acide faible privé d'arsenic. Au commencement de l'opération, le liquide bout vers 85°, et quand tout le gaz est dégagé, l'hydrate chlorhydrique distille à 110°. En substituant une cornue à la fiole et en mettant de côté le premier tiers on peut recueillir, en prolongeant la distillation, presque la totalité des deux autres tiers de l'acide également purifié de ses impuretés fixes (sulfates, chlorures, acide sulfurique).

Préparation de l'acide fumant. — Appareil intermittent.

L'appareil employé dans cette préparation se compose d'une fiole à fond plat, de six litres de capacité, dans laquelle on verse tout d'abord trois litres d'acide arsenifère additionné de $0^g,3$ de chlorate de potasse en poudre ($0^g,1$ par litre). On adapte ensuite au goulot de la fiole un bouchon percé de deux trous qui donnent passage l'un à un tube de sûreté droit et fort et l'autre à un tube d'un plus grand diamètre (diamètre des tubes à analyse organique) long de $0^m,5$, et faisant pour ainsi dire office d'allonge verticale. Ce tube-allonge est à peine effilé à sa partie inférieure. On le remplit de rognures de cuivre rouge très-fortement tassées (environ 100^g) jusqu'à $0^m,07$ au-dessous de son orifice supérieur,

1. Depuis quelques années, on a remplacé complétement, dans mon laboratoire, les ballons ordinaires par des fioles à fond plat. Pour les chauffer au gaz, on a soin d'interposer entre elles et la flamme une plaque de tôle sur laquelle elles reposent. On évite ainsi la condensation de la vapeur d'eau du gaz qui brûle et les accidents qui s'en suivent.

qu'on remplit presque entièrement d'amiante ou de verre concassé. La plus grande partie de ce tube plonge dans le goulot de la fiole, de façon à présenter un grand développement de surface à l'action calorifique de la vapeur chlorhydrique. En traversant cette colonne métallique, le gaz acide se dépouille de son chlore et arrive pur dans l'eau destinée à le dissoudre. Ce tube-allonge est donc muni à sa partie supérieure d'un tube abducteur qui dirige le gaz dans son récipient. Le mode opératoire se comprend



Appareil pour la purification de l'acide chlorhydrique arsenifère.

aisément. En portant à l'ébullition l'acide, on complète la transformation du chlorure d'arsenic en acide arsénique fixe par la décomposition du chlorate de potasse ; le chlore en excès est

entraîné avec le gaz chlorhydrique humide à travers le cuivre, qui l'absorbe sans retenir l'acide, pour lequel son affinité est bien moins grande. Le chlorure de cuivre retombe dans la fiole, tandis que l'acide chlorhydrique gazeux va se condenser dans de l'eau distillée. Mais comme il est important, ainsi qu'on l'a déjà vu, qu'il y ait toujours au sein de l'acide en ébullition un léger excès de chlore pour empêcher la décomposition de l'acide arsénique, on fait arriver par le tube de sûreté, qui ne doit plonger que de 3 à 5 centimètres dans le liquide, un courant constant d'acide chlorhydrique additionné de chlorate de potasse dans une proportion décuple de l'acide primitif, de manière à entretenir ainsi toujours un léger excès de chlore, et à alimenter en même temps la fiole de gaz chlorhydrique[1]. En général, la proportion d'acide liquide ainsi ajoutée doit être plus forte que celle qui passe à la distillation, de manière à augmenter sensiblement le niveau du liquide en ébullition, autrement on pourrait craindre de ne pas lui fournir assez de chlore. Quand l'expérience a été bien conduite, l'acide chlorhydrique condensé ne contient ni arsenic, ni chlore[2]; ce dont il est facile de s'assurer à l'aide de l'appareil de Marsh et de l'indigo[3]. L'acide est arsenifère, si la proportion de chlore a été insuffisante, et il est chloré, si elle a été, au contraire, trop considérable par rapport au cuivre employé. En général, par ce moyen, il est facile d'obtenir, en trois heures, 1 litre 1/2 d'acide fumant en opérant sur cinq litres d'acide chlorhydrique du commerce à 21° Baumé et un demi-litre d'eau distillée. Soit un rendement d'un peu plus d'un quart de l'acide employé[4].

1. Cet écoulement constant s'obtient aisément en prenant pour réservoir un flacon à robinet muni d'un tube mariotte, ou toute autre disposition analogue.

2. Il ne contient jamais de cuivre, mais quelquefois un peu de fer.

3. Ce dernier essai s'effectue de la manière suivante : On prend 3^{cc} de l'acide suspect auquel on donne à peine une coloration bleue ou verdâtre en y versant une goutte de sulfate d'indigo faible. Si, malgré une ébullition de quelques minutes, la teinte primitive n'a pas disparu ou ne s'est pas altérée, c'est une preuve de l'absence du chlore. Il peut être utile aussi, comme moyen de contrôle, d'avoir un tube témoin qu'on ne chauffe pas.

4. L'acide résidu peut servir à la préparation des gaz carbonique, hydrogène et chlore.

Dans le cas où la présence du fer ne nuit pas dans l'acide purifié obtenu, on le

Préparation de l'acide fumant. — Appareil continu.

A l'appareil précédent, très-convenable d'ailleurs pour les laboratoires à cause de son facile maniement, on peut substituer avec avantage l'appareil suivant dont l'effet est continu et sans perte appréciable d'acide. La fiole est remplacée par une cornue tubulée dont le col se rend dans une allonge courbe remplie de rognures de cuivre et dont l'extrémité effilée ferme la tubulure d'une autre cornue placée plus bas. La première cornue à *réaction* étant chargée d'acide arsenifère additionné de chlorate de potasse, on la chauffe, et au fur et à mesure que l'acide distille, il est remplacé comme dans l'appareil précédent par un filet d'acide muriatique chloré, dirigé au milieu du liquide bouillant, à l'aide d'un tube qui traverse la tubulure et ladite cornue. On peut aisément régler l'écoulement de cet acide froid, de telle façon que la quantité qui en arrive remplace exactement celle qui se vaporise, surtout si l'on opère sur une grande surface d'évaporation.

Le gaz chlorhydrique et l'acide hydraté passent ainsi à travers la colonne de cuivre, y déposent le chlore libre qu'ils entraînent avec eux, et s'écoulent dans la seconde cornue accompagnés du chlorure de cuivre. Cette cornue étant à son tour chauffée, laisse passer à la distillation de l'acide chlorhydrique fumant qu'on condense dans un ballon tubulé ou tout autre récipient muni ou non d'un tube destiné à recueillir dans l'eau le gaz qui pourrait se dégager. De cette façon, l'arsenic reste dans la cornue à *réaction* sous forme d'acide arsénique, et c'est le chlorure de cuivre qui compose le résidu non volatil de la deuxième cornue dite à *épuration*. En réglant sur la marche de la première cornue l'arrivée de l'acide froid et la distillation de l'acide cuprifère du vase à épuration, on obtient sans perte un rendement régulier et continu d'acide pur fumant non arsenifère. Par cette disposition, la nouvelle méthode remplit donc les conditions d'un procédé industriel.

On peut encore se procurer beaucoup plus aisément dans les laboratoires un acide fumant non arsenifère en distillant, mais

débarrasse aisément du chlore en y versant du protochlorure de fer ou de la limaille de fer par doses de $0^{g},2$ à la fois jusqu'à la disparition du chlore libre.

sans atteindre l'ébullition, sur un bain de sable chauffé au gaz, l'acide commercial préalablement additionné de chlorate de potasse ($0^g,1$ par litre) et enfermé dans une cornue dont le col se rend simplement dans un ballon contenant un peu d'eau.

En réglant la chaleur de manière à ne jamais déterminer l'ébullition de l'acide, la partie qui distille n'est pas arsenicale, de plus l'opération n'exige aucune surveillance et peut marcher seule pendant la nuit. Il est possible de distiller ainsi les quatre cinquièmes de l'acide. On recharge la cornue, sans la vider, avec une nouvelle quantité d'acide commercial additionné de chlorate.

Mais le produit obtenu est toujours chloré, surtout au commencement de la distillation. En le traitant par quelques centigrammes de limaille de fer comme on l'a indiqué plus haut, on le purifie aisément de son chlore, et si la présence du fer dans l'acide était un inconvénient, on le soumettrait de nouveau à la distillation pour l'avoir pur et fumant.

RÉSUMÉ.

Les observations qui font l'objet de ce mémoire établissent les faits suivants :

I. L'arsenic converti en hydrogène arsénié est instantanément absorbé par le nitrate d'argent dissous dans l'eau et peut être exactement dosé par ce réactif. On emploie à cet effet deux liqueurs titrées, l'une composée d'argent

$$\text{dont } 1^{cc} = 0^g,0305 \text{ Ag} = 0^g,01 \text{ Cl} = \begin{cases} \text{As} & 0^g,00359 \\ \text{As Cl}^3 & 0^g,008677 \end{cases}$$

l'autre formée de sel marin

$$\text{dont } 10^{cc} = 0^g,165 \text{ Na Cl} = 1^{cc} \text{ Ag}.$$

II. L'hydrogène produit par la réaction de l'acide chlorhydrique sur le zinc pur ne présente pas, comme l'hydrogène arsenié, de pouvoir réducteur vis-à-vis du sel d'argent.

III. On dose l'arsenic de l'acide chlorhydrique du commerce en opérant sur 100^{cc} de cet acide auxquels on ajoute une suffisante quantité d'une dissolution de permanganate de potasse non arsenifère. L'acide est ensuite versé dans un appareil de Marsh

et on absorbe l'arsenic avec 1^{cc} ou 2^{cc} de la dissolution titrée d'argent ci-dessus indiquée.

IV. La proportion de l'arsenic contenu dans l'acide chlorhydrique du commerce préparé avec de l'acide sulfurique des pyrites varie dans une même fabrication suivant les phases de la réaction du vitriol sur le sel marin et selon la place occupée par les bonbonnes dans l'appareil condensateur. L'arsenic est plus abondant dans la première phase de la réaction que dans la deuxième et dans les dernières bonbonnes, c'est-à-dire dans celles placées le plus loin du four où se produit l'acide, que dans les premières, d'où il paraît être entraîné par l'acide gazeux. Sa proportion à l'état de chlorure $AsCl^3$ est en moyenne de 0^g,036 par kilog. et de 0,040 par litre.

V. C'est sous forme de chlorure volatil et non à l'état d'acide arsénique ou d'acide arsenieux que l'arsenic existe dans l'acide faible ou concentré.

VI. Au contact de l'acide hydrochlorique, l'acide arsenieux se comporte comme un oxyde métallique et passe à l'état de chlorure volatil.

VII. Sous l'influence du chlore et de l'eau, le chlorure d'arsenic volatil se transforme rapidement en acide hydrochlorique et en acide arsénique fixe d'après l'équivalence

$$\underbrace{2\,AsCl^3}_{\text{Chlorure d'arsenic.}} + 4\,Cl + 10\,HO = \underbrace{2\,As\,O^5}_{\text{Acide arsénique.}} + 10\,HCl.$$



VIII. Mais au contact de l'acide chlorhydrique, surtout à chaud, l'acide arsénique paraît à son tour éprouver une décomposition et passe à l'état de chlorure arsénique, moins volatil que le chlorure arsenieux. Toutefois, la volatilisation de ce chlorure ne peut avoir lieu dans les conditions indiquées en présence d'un excès de chlore.

IX. Il suit de là deux moyens faciles de purification de l'acide chlorhydrique arsenifère.

L'acide faible s'obtient en faisant bouillir dans une fiole à fond plat l'acide ordinaire jusqu'à réduction aux deux tiers de son volume primitif.

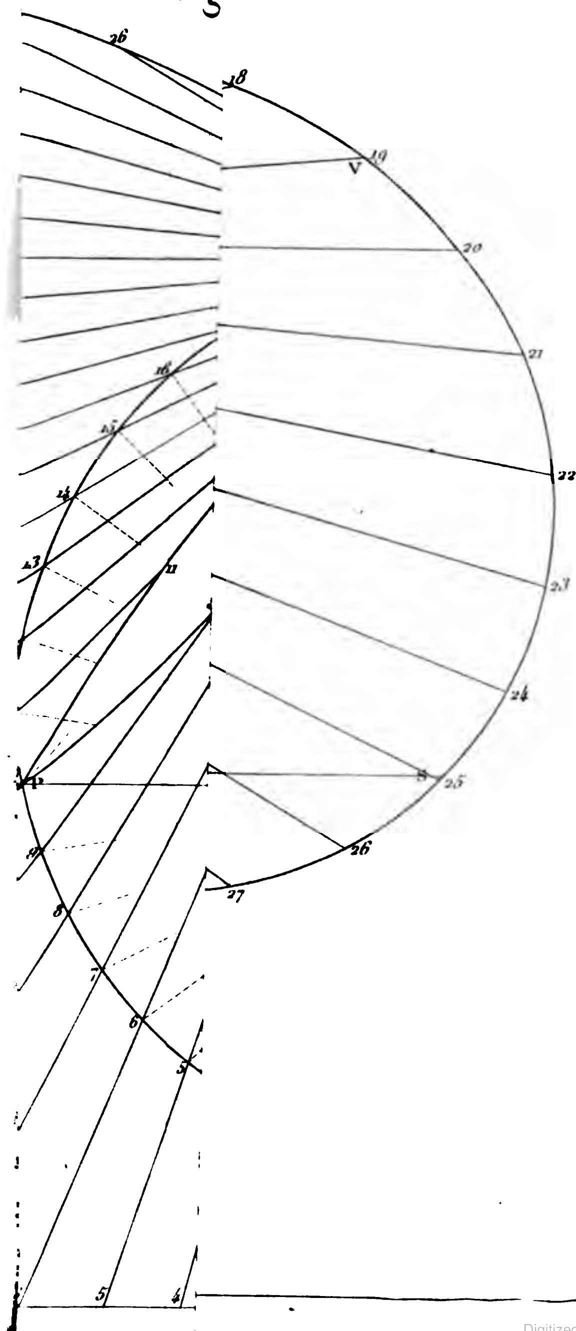
L'acide fumant, au contraire, se prépare en dissolvant préalablement dans l'acide du commerce le dix-millième environ de son poids de chlorate de potasse et le soumettant à la distillation. Le gaz chlorhydrique n'entraîne jamais d'arsenic dans ces conditions, si l'on a soin d'entretenir dans l'acide un léger excès de chlore en y faisant arriver de l'acide chlorhydrique additionné d'une dose dix fois plus forte de chlorate que le précédent acide, c'est-à-dire d'un millième. Le chlore excédant qui accompagne le gaz chlorhydrique est absorbé par le cuivre métallique. Selon la disposition de l'appareil, le procédé de purification est *intermittent* ou *continu*.

Dans le premier cas, on obtient en acide fumant un peu plus du quart de l'acide commercial distillé, et dans le second cas, on retire presque autant d'acide pur et concentré qu'on a employé d'acide arsenifère.

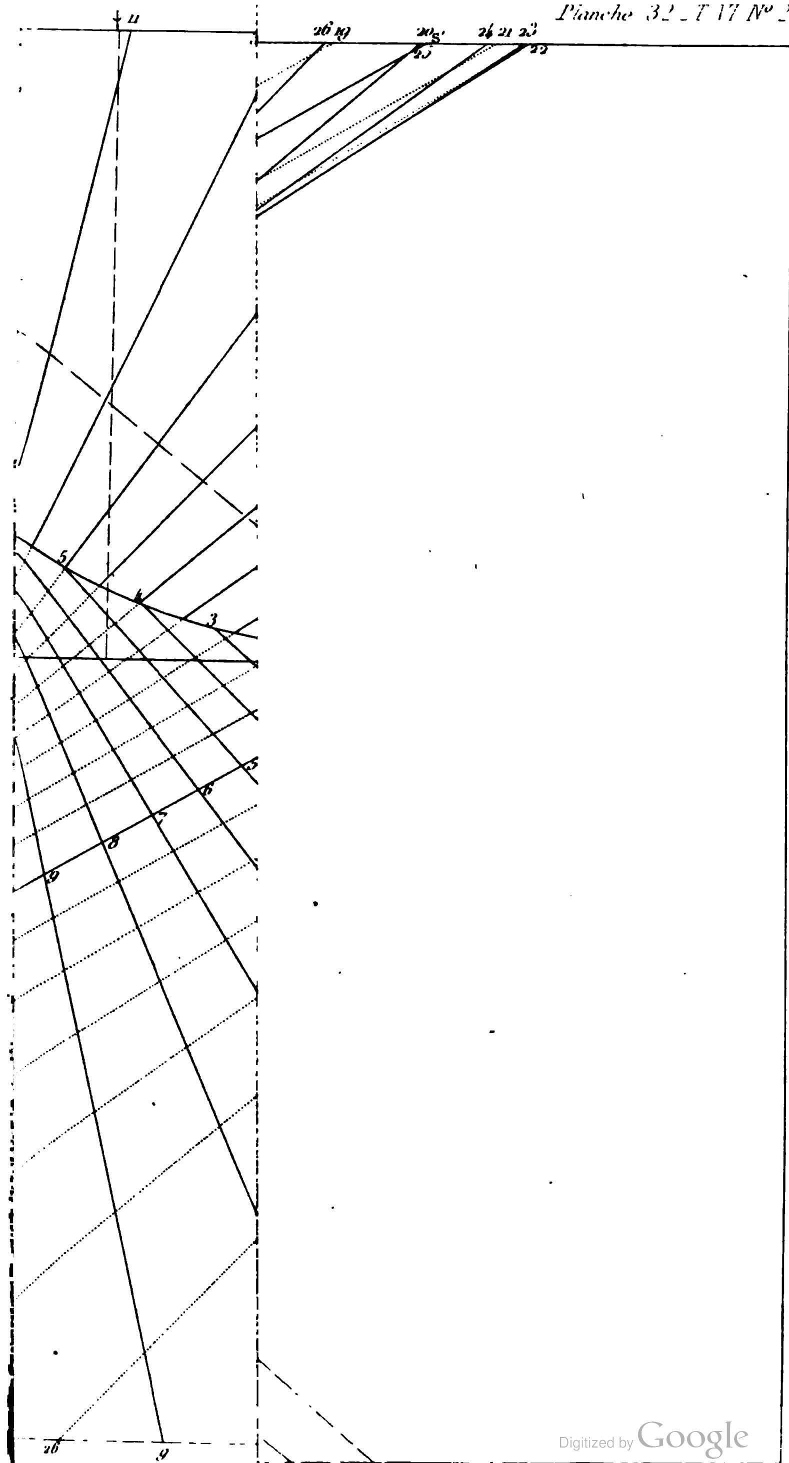
On prépare encore très-aisément et sans perte notable un acide fumant privé d'arsenic, en distillant, sans le faire bouillir, de l'acide du commerce additionné de $0^g,1$ de chlorate de potasse par litre. L'appareil se compose d'une cornue chauffée au bain de sable et dont le col se rend dans un ballon contenant très-peu d'eau. Le produit condensé n'est jamais arsenifère, si l'acide d'où il provient n'a pas bouilli; il contient seulement du chlore dont on le débarrasse par la limaille de fer.

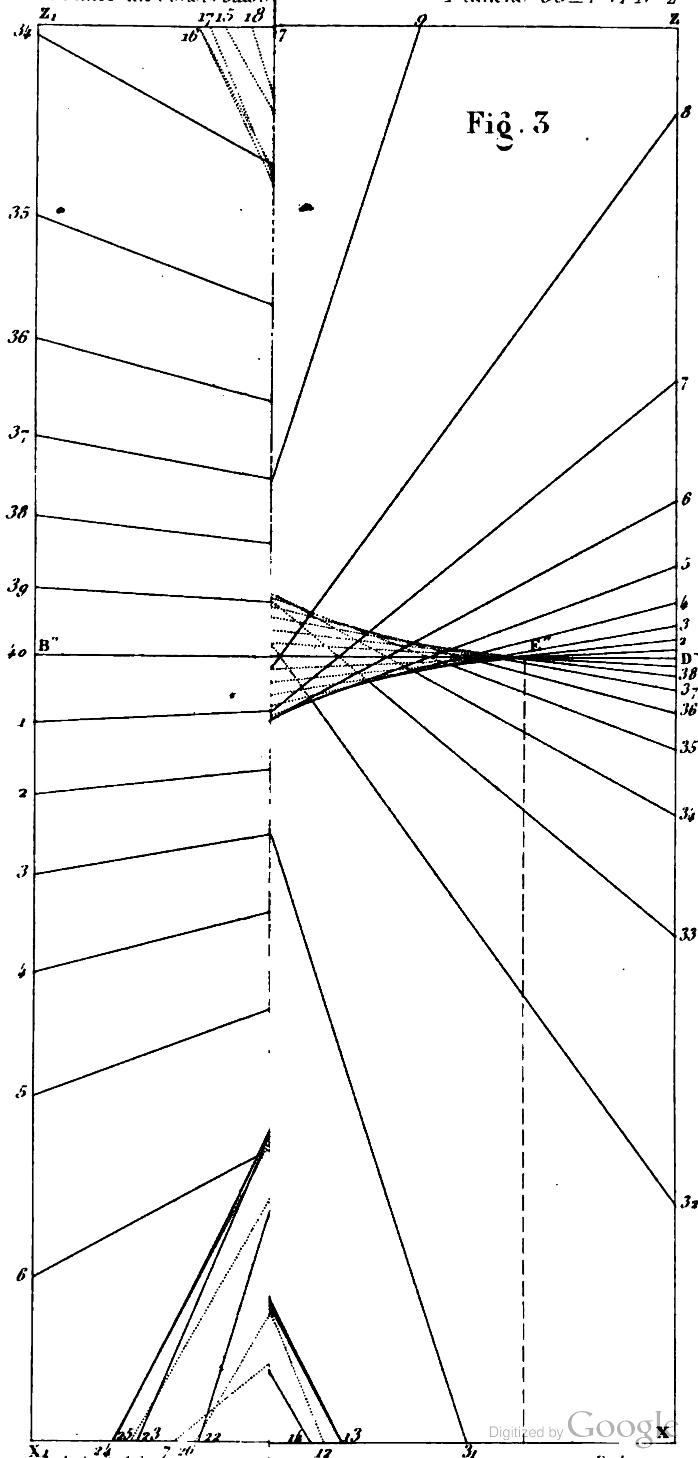
En terminant, je me fais un devoir de signaler l'intelligent concours que m'a prêté dans ce travail M. Adolphe Renard, l'un des élèves du laboratoire de chimie de l'école des sciences de Rouen.

Paris. — Imprimerie P.-A. BOURDIER ET Cie, rue des Poitevins, 6


Fig
26
18
19
V
20
21
22
23
24
8
25
26
27
16
15
14
13
11
P
9
8
7
6
5
5
4

SURF




Fig. 3
Z₁
Z
X₁
X
B"
D"
E"

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

SUR LA

THÉORIE DE L'ÉQUIVALENT MÉCANIQUE

DE LA CHALEUR

PAR MM. TRESCA ET CH. LABOULAYE.

Mémoire lu à l'Académie des Sciences le 13 février 1865.

OBJET DE CES RECHERCHES.

Dans une série d'expériences commencées dès le mois d'avril 1863, et poursuivies sans interruption depuis lors, nous nous sommes proposé de rechercher d'une manière directe, et en nous appuyant seulement sur les lois les plus incontestées de la physique, la valeur de l'équivalent mécanique de la chaleur.

Il nous avait paru que l'on devait surtout attribuer à l'absence d'une pareille détermination, résultant d'une expérience à l'abri de toute difficulté d'interprétation, l'incertitude qui semble planer encore sur cette grande question de notre époque, et que nous pourrions aider utilement à sa plus complète divulgation, si nous opérions sur une grande échelle et si nous parvenions à obtenir par un grand développement de travail des abaissements de température très-marqués.

L'emploi des gaz permanents, entre les molécules desquels les actions intérieures sont nulles, nous offrait à n'en pas douter les conditions les plus favorables pour cette détermination; mais il résulte de la faible densité de ces fluides, que les observations

relatives aux effets mécaniques et calorifiques qui se produisent dans leur intérieur sont d'une extrême difficulté, lorsqu'on opère avec les appareils de petites dimensions des cabinets de physique; qu'elles conduisent alors presque toujours à des résultats inexacts, comme M. Regnault l'a montré pour l'expérience de Clément Desormes.

Il n'en est pas de même avec le réservoir que le Conservatoire des arts et métiers possède dans sa galerie des machines. Déjà, en se servant de cet appareil, l'un de nous a pu observer en 1859, mais dans des expériences qui avaient un tout autre but, des abaissements de température atteignant parfois jusqu'à 60° au-dessous de zéro, en employant l'action de l'air comprimé jusqu'à 12 ou 15 atmosphères, et celle de sa détente dans un petit cylindre de machine à vapeur.

La difficulté qui devait surtout nous préoccuper étant celle de la détermination exacte de la température de toute la masse gazeuse sur laquelle nous aurions à agir, nous avons cherché à remplacer la mesure de ces températures par celles des pressions, en convertissant en thermomètre à air notre réservoir tout entier, dont la capacité est de 3 mètres cubes.

En principe général, nous nous sommes imposé la règle de puiser tous les éléments de nos déterminations dans les observations que nous pourrons faire sur les variations de pression de la masse gazeuse dans le réservoir même.

Disons comment nous avons opéré :

De l'air comprimé étant introduit dans notre réservoir, nous avons attendu jusqu'au lendemain pour qu'il eût repris la température ambiante, ainsi que le réservoir lui-même, dont tous les joints étaient fréquemment visités et rendus étanches toutes les fois que les observations nous avertissaient de l'existence de quelques fuites.

Au moment de l'ouverture d'un gros robinet, une partie de cet air s'échappait dans l'atmosphère. L'air qui se détendait dans l'appareil sans en sortir, en développant ainsi un certain travail que nous saurons mesurer, devait dans l'hypothèse de la théorie mécanique de la chaleur s'être refroidi proportionnellement au travail produit.

Pour obtenir la mesure exacte de ce refroidissement, il nous a suffi, après la fermeture du même robinet, d'attendre que la

température de la masse gazeuse se fût remise en équilibre avec la température ambiante. A partir du moment de cette fermeture notre appareil fonctionnait donc comme un thermo-manomètre d'un grand volume.

Ce procédé nous offrait l'avantage d'évaluer dans leur ensemble les variations survenues et en n'étudiant que les phénomènes produits dans l'intérieur même du réservoir, nous n'avions à nous préoccuper en aucune façon de la complication des circonstances de l'écoulement soit à l'embouchure de l'appareil, soit dans le jet gazeux, après sa sortie.

La section du robinet était d'ailleurs assez petite pour que le gaz ne pût être soumis, dans l'intérieur de l'appareil, qu'à des déplacements relativement lents. En ne considérant que le gaz qui est resté dans l'appareil, à la fin de chaque écoulement, son volume V_1 était celui du réservoir, sa pression P_1 était indiquée par un manomètre; et cette pression devenant P_2, après complet réchauffement jusqu'à la température initiale t_0, tandis qu'elle était P_0 à la même température avant l'écoulement. On avait toujours entre les diverses quantités que nous venons d'indiquer, la relation

$$\frac{V_0 P_0}{1+at_0} = \frac{V_1 P_1}{1+at_1} = \frac{V_1 P_2}{1+at_0}$$

à l'aide de laquelle il nous est facile de déterminer le volume initial V_0(*) de la masse restante et sa température intermédiaire t_1 au moment où l'écoulement cesse.

Les pressions P_0, P_1, P_2(**) sont indiquées par un manomètre. La température t_0 est observée sur un thermomètre extérieur à l'appareil. La connaissance du volume V_1 résulte d'un mesurage direct.

Le but de nos observations était constamment, d'une part, de déterminer la différence des températures, et par suite la dépense

(*) Volume du gaz à la température t_0 et à la pression P_0, qui, après s'être détendu jusqu'à la pression P_1, et avoir acquis une température t_1, occupe le volume V_1 du réservoir.

(**) P_2 pression accusée par le même gaz, qui occupe toujours le volume V_1, lorsque, par suite du rétablissement de l'équilibre des températures, il a repris la température initiale t_0.

correspondante de chaleur; d'autre part, de demander aux conditions de l'expérience même, et au calcul que permet la connaissance des pressions et des températures de l'air, la mesure du travail développé; par suite d'obtenir ainsi le rapport du travail à la quantité de chaleur qui l'a engendré, ou l'*équivalent mécanique de la chaleur*.

La description sommaire des appareils suppléera à l'insuffisance de ces premières explications.

DESCRIPTION DES APPAREILS.

Le réservoir destiné à contenir le gaz comprimé se compose d'une grande chaudière cylindrique en forte tôle, terminée par deux calottes hémisphériques. C'est au centre de l'une de ces calottes et par conséquent dans l'axe de la chaudière que le robinet d'écoulement est placé.

Un petit orifice latéral sert à mettre le gaz en communication avec le manomètre à air libre, dans les deux branches duquel on peut observer la hauteur de la colonne de mercure.

Au milieu du corps cylindrique se trouve installée une très-bonne pompe à air comprimé, qui peut être mise en mouvement par la transmission générale de la salle des expériences de mécanique du Conservatoire. Lorsque la compression est terminée, on retire la bielle motrice et l'on coiffe le cylindre de la pompe d'un couvercle en fonte, avec garniture de caoutchouc, dans le but d'éviter toute déperdition ultérieure par les clapets.

Cette installation et la machine à vapeur qui la dessert permettent de comprimer l'air, dans le réservoir, jusqu'à quinze atmosphères; mais dans les expériences dont nous entretenons en ce moment l'Académie, nous n'avons encore utilisé la détente du gaz qu'à partir d'une pression initiale de trois atmosphères, ce maximum correspondant à la limite de notre manomètre actuel.

Lors des premiers essais l'air introduit par la pompe était puisé dans l'atmosphère même; mais depuis le mois de novembre de l'année dernière, cet air a toujours, avant son introduction dans le réservoir, circulé lentement dans une grande cuve rectangulaire en bois, doublée de zinc, et dans deux futailles à la suite. Ces vases accessoires sont garnis à l'intérieur de clayonnages

couverts de chaux vive, avec laquelle l'air est pendant longtemps en contact. Ils communiquent entre eux et avec la pompe au moyen de gros tubes en caoutchouc, et afin d'éviter toute rentrée d'air par les joints et de n'opérer absolument que sur de l'air sec, le fonctionnement même de la pompe entraîne celui d'un petit ventilateur, placé en amont de la première cuve et au moyen duquel on entretient toujours, dans les vases sécheurs, un petit excès de pression par rapport à la pression extérieure.

Pour compléter la description de l'appareil, nous ajouterons qu'un flotteur, équilibré par un contre-poids, était disposé de manière à obéir à toutes les variations de la colonne de mercure du manomètre et qu'en faisant passer, à l'aide d'un moteur chronométrique, une plaque de verre enduite de noir de fumée devant une aiguille horizontale dont ce flotteur était muni, nous avons pu tracer, pendant les périodes d'écoulement et de réchauffement, un très-grand nombre de diagrammes analogues à ceux que nous avons eu l'honneur de présenter à l'Académie. Suivant les indications qui nous ont été données par M. Mangon, cette aiguille est aimantée afin qu'en cherchant à obéir à l'action magnétique, elle la presse constamment contre le verre sans déterminer un frottement notable; dans nos expériences, il a été nécessaire d'aider à cette action au moyen d'un barreau énergique agissant sur l'aiguille dans le plan horizontal de sa rotation.

Pour plus de précision, deux cathétomètres étaient en outre placés de manière à faire connaître la différence de niveau des deux colonnes du manomètre, au commencement et à la fin de chaque expérience.

On va voir que ces moyens d'observation suffisent non-seulement pour donner la connaissance des chiffres qui doivent servir dans les calculs, mais encore pour fournir une représentation graphique de la marche des phénomènes et de l'amplitude des variations de température et de pression.

DESCRIPTION D'UNE EXPÉRIENCE.

L'air est comprimé dans le réservoir depuis la veille; il a maintenant la température t ambiante.

Les deux cathétomètres visent respectivement les deux ménis-

ques de colonnes manométriques; les lectures faites sur les verniers indiquent, par différence, l'excès de la pression intérieure dans le réservoir, sur la pression atmosphérique H donnée par un baromètre.

Le moteur chronométrique est mis en mouvement. Le verre noirci passe devant l'aiguille du flotteur, qui y trace l'amorce d'une ligne horizontale correspondant à la pression initiale P_0 dans le réservoir.

On ouvre alors le robinet, pendant un temps très-court, le plus ordinairement pendant cinq secondes; l'aiguille tracé sur le verre une courbe descendante, dont les abscisses sont proportionnelles aux durées de l'écoulement et dont les ordonnées représentent, à une même échelle, les pressions successives de l'air contenu dans le réservoir.

On ferme le robinet d'écoulement; le verre continue à se mouvoir et l'aiguille trace une nouvelle courbe, dont l'accroissement des ordonnées indique, à chaque instant, l'augmentation de la pression intérieure, résultant de la restitution de chaleur faite à la masse gazeuse par la paroi métallique, que l'on peut considérer par rapport à elle comme un réservoir indéfini de chaleur.

Au bout de six à huit minutes le réchauffement est complet, et l'aiguille trace une nouvelle horizontale à la pression finale P_2 du réservoir.

On observe de nouveau, à l'aide des cathétomètres, les niveaux du mercure au moment où les colonnes deviennent stationnaires et tout est prêt pour recommencer une nouvelle expérience dans laquelle la nouvelle pression initiale sera précisément la pression finale P_2 de l'expérience précédente, à la fin du réchauffement.

Il arrive quelquefois que l'inertie du mercure fausse un peu le tracé au commencement de la période de relèvement, mais ces anomalies cessent presque aussitôt et le tracé est ensuite d'une netteté parfaite dans toute son étendue.

On le complète d'ailleurs en marquant, de minute en minute, les abscisses correspondantes, par un léger trait fait à la main, au-dessous de l'aiguille, pendant que le verre se déplace.

Il nous est arrivé de faire ainsi jusqu'à dix expériences successives avec ce qui restait, à chaque fois, de la masse d'air primitive dans le réservoir. Ce sont ces séries d'expériences successives auxquelles nous attachons le plus de prix, parce

qu'elles permettent d'élaguer les expériences défectueuses par quelque cause accidentelle, ne fournissant pas des résultats formant une série régulière. On évite ainsi de prendre des moyennes entre des nombres très-différents, sans pouvoir reconnaître ceux qui sont erronés.

Lorsque les expériences sont terminées, le verre est posé sur une table; on le recouvre d'une feuille de papier bien imprégnée au pinceau, d'un vernis léger de gomme-laque, qui se tamise dans les pores de la feuille et qui doit à peine mouiller la face opposée destinée à recevoir l'empreinte du diagramme. Un coup de brosse rapidement donné suffit pour rendre tout le noir de fumée du verre adhérent au papier, en conservant aux lignes enlevées par l'aiguille leurs formes parfaitement exactes; on peut juger de la sûreté du moyen par les dix courbes ainsi reproduites, que nous avons réunies dans un même tableau, et qui n'ont pas moins de $1^m,10$ de longueur.

Ces courbes sont celles de la série du 12 février; elles présentent cet intérêt particulier qu'elles appartiennent à dix expériences successives, avec écoulement et réchauffement séparés les uns des autres par dix minutes d'intervalle.

Il nous a semblé qu'aucune autre indication ne pourrait mieux démontrer la réalité, et fournir la mesure du phénomène. Dans toute question où la foi scientique est encore incertaine, on ne saurait en effet trop s'attacher à faire écrire par les faits eux-mêmes les résultats les plus frappants; après les difficultés vaincues, l'observateur est plus satisfait et il est plus sûr de lui, quand il peut ainsi conserver la preuve matérielle des faits observés. Les faits mis ainsi hors de doute peuvent en outre servir de base à une discussion plus sérieuse et plus sûre.

ABAISSEMENT DE TEMPÉRATURE.

L'évaluation des abaissements de température est, dans ces expériences, fort simple; puisqu'en combinant la loi de Mariotte avec celle de Gay-Lussac, la formule déjà écrite conduit à la relation

$$\frac{1+at_0}{1+at_1}=\frac{P_2}{P},$$

d'où l'on tire facilement et avec toute l'exactitude nécessaire :

$$t_0 - t_1 = \frac{1}{a}\left(\frac{P_2}{P_1} - 1\right),$$

ce qui permet d'évaluer, sans aucune hypothèse, l'abaissement de température qui le produit pendant l'écoulement.

Voici quelques résultats calculés, à ce point de vue, pour les deux séries les plus complètes, celles des 5 et 12 février :

Tableau des abaissements de température observés.

NUMÉROS DES EXPÉRIENCES dans chaque série.	VALEURS de $P_2 : P_1$	VALEURS de $t_0 - t_1$	VALEURS de $P_2 : P_1$	VALEURS de $t_0 - t_1$
	5 février.		12 février.	
1	1.03468	9°43	1.03459	9°41
2	1.05082	13.82	1.04338	11.80
3	1.05511	14.99	1.04206	11.44
4	1.04418	12.09	1.04350	11.83
5	1.04314	11 73	1.0[illegible]781	10.28
6	1.05104	13.88	1.04729	14.26
7	1.04390	11.94	1.04080	11.10
8	1.02897	7.88	1.03162	8.60
9	1.02258	6.14	1.02805	7.63
10	1.01549	4.21	1.02142	5.83
	TOTAL....	106.11	TOTAL...	102.18

Il résulte des chiffres du tableau ci-joint que, dans la première de ces deux séries, la température du même air s'est, par suite des détentes successives, abaissée de 106°,11 ; dans la seconde, de 102°,18; et la différence entre ces deux nombres, si minime en présence de la grandeur de l'effet total, s'explique encore d'elle-même si l'on se reporte aux conditions de pression dans les deux expériences mises en regard.

Le 5 février la pression de départ était, en millimètres de mercure, de 2^m,2321.31; la pression finale de 0^m,784.10.

Les chiffres correspondants pour le 12 sont : pression de départ : 2^m,275.51 ; pression finale : 0^m,823.90.

La détente a été plus grande dans la première série que dans la seconde, et cette différence est nettement accusée par un abaissement de température plus grand.

Le plus grand abaissement que nous ayons obtenu, en une seule sortie de gaz, appartient à une expérience du 18 février dans laquelle

$$P_0 = 2399.03 ;\ P_1 = 1160.10 ;\ P_2 = 1328.25.$$

On a alors :

$$P_2 : P. = 1,14485$$

et

$$t_0 - t_1 = 39^\circ,6.$$

Si l'on compare ce refroidissement déterminé par un écoulement unique, compris cependant entre des limites de pression très-étendues, aux totaux que nous venons de calculer pour des écoulements fractionnés, on voit immédiatement apparaître l'influence du réchauffement par les parois, pendant que l'écoulement s'opère. Cet effet pouvait facilement être prévu, puisque ces parois rayonnent d'autant plus que la différence de température est plus grande; si le refroidissement dû à la détente se continuait, il arriverait même un moment où la chaleur reçue de l'enveloppe équivaudrait à celle qui serait employée à la production du travail, auquel cas tout abaissement nouveau deviendrait impossible.

C'est pour ce motif que, dans le réservoir, nous ne sommes parvenus à faire paraître le phénomène de changement de température, dans ses vraies proportions, qu'à la condition d'arrêter l'écoulement aussitôt qu'il s'est produit un refroidissement de quelque importance.

Cette considération nous a conduit à limiter les durées des périodes d'écoulement; la grande courbe du 16 février montre que les résultats seraient, sans cela, d'une interprétation et surtout d'une correction moins facile.

CALCUL DE LA VALEUR DE L'ÉQUIVALENT MÉCANIQUE.

Dans chacune des nombreuses expériences qui ont été faites comme il vient d'être dit, il y a tout à la fois *travail produit* et *chaleur consommée* par la détente.

S'il est vrai que l'une de ces quantités soit l'équivalent de l'autre, et que l'on puisse évaluer celle-ci par celle-là en les reliant par un rapport constant $\frac{1}{A}$ que l'on appelle l'équivalent mécanique de la chaleur, on pourra former l'égalité

$$dT = \frac{1}{A} dY,$$

dans laquelle dT et dY représentent respectivement les variations élémentaires du travail en kilogrammètres et de la dépense de chaleur exprimée en calories.

Mais sans avoir à calculer directement le travail, on arrive, pour les éléments de chacune de nos expériences, à la formule :

$$\frac{1}{A} = \frac{10330\,a}{cD}\left(1 + \frac{\log.\,P_0 : P_2}{\log.\,P_2 : P_1}\right).$$

Dans cette valeur de $\frac{1}{A}$ de l'équivalent mécanique de la chaleur, a est le coefficient de 0,00367 de dilatation du gaz ; D est le poids du mètre cube de ce fluide à la pression de 1 atmosphère et à 0° ; pour l'air atmosphérique on sait, d'après les expériences de M. Regnault, que $D = 1{,}293$; enfin, c représente la capacité du gaz pour la chaleur, à pression constante (*).

(*) *Développement du calcul.* — Voici le développement des calculs qui conduisent à la formule indiquée ci-dessus :

Si l'on porte à la température $t + dt$, en lui conservant sa pression initiale P, un volume V de gaz, qui était originairement à la température t, et dont la densité était dans ces conditions $\frac{DP}{1+at}$, la quantité de chaleur dépensée sera, en désignant par c la capacité du gaz à pression constante,

$$(1) \qquad c\,dt \times V\frac{DP}{1+at}.$$

Et cette quantité de chaleur aura produit, en même temps que l'échauffement, un travail extérieur dont l'expression, d'après l'expression donnée plus haut des lois de Mariotte et de Gay-Lussac combinées, est

$$10330\,P\,dV = 10330\,P\frac{V\,a\,dt}{1+at}.$$

Dans l'hypothèse de l'équivalence entre travail et chaleur, si l'on représente

Au moyen de la formule qui précède et qui suppose l'exactitude de la loi qu'il s'agit de démontrer, on ne saurait arriver à cette démonstration que si, en faisant varier les différentes quantités résultant de l'observation dans de grandes limites, on trouvait, dans tous les cas, pour $\frac{1}{A}$ une valeur constante.

En fait les différences entre les valeurs ainsi trouvées pour $\frac{1}{A}$ sont peu considérables, pour des limites de détente comprises entre une et trois atmosphères.

par A l'équivalent calorifique de 1 kilogrammètre, ce travail correspondra à une quantité de chaleur :

(2) $$10330\, p \frac{V a dt}{1+at} \times A.$$

L'expression de ce travail en chaleur donne la quantité dont l'échauffement sous pression surpasse celui à volume constant, ou, en d'autres termes, D étant le poids de l'unité de volume, pour $VD = 1$, la capacité c' à volume constant est égale à

(3) $$c' = c - 10330 \frac{Aa}{D}.$$

C'est cette valeur de c' qu'il faudra introduire dans le calcul par lequel on voudra mettre en parallèle le travail de détente d'un gaz et la chaleur interne dépensée correspondante.

En désignant par P la pression du gaz en atmosphères, par dV la variation de son volume, par dt son abaissement de température, on aura donc :

$$10330\, P dV = -\frac{1}{A} c' dt \times V \frac{DP}{1+at} = -\frac{1}{A}\left(c - 10330 \frac{Aa}{D}\right) dt \times V \frac{DP}{1+at},$$

ou, en divisant par PV,

$$10330 \frac{dV}{V} = -\frac{D}{A}\left(c - 10330 \frac{Aa}{D}\right) \frac{dt}{1+at},$$

ou $$10330 \frac{dV}{V} = -\left(\frac{1}{A} cD - 10330\, a\right) \frac{dt}{1+at}.$$

Cette relation est indépendante de P et peut s'intégrer par rapport aux seules variables V et t.

Si l'on désigne par V_0 P_0 t_0, le volume, la pression et la température avant la

Les observations du 12 février donnent pour moyenne

$$\frac{1}{A} = 476.66,$$

en prenant pour c la valeur $c = 0.237$ déterminée par M. Regnault pour l'air atmosphérique.

Les deux séries précédentes conduisent respectivement aux nombres

487.49 et 482.85.

La concordance de ces chiffres est certainement très-intéressante en ce qu'elle démontre que le principe de l'équivalent mécanique de la chaleur se trouve ainsi confirmé par des faits qui apparaissent à volonté, dans des conditions déjà très-variées.

détente ; par V_1 P_1 t_1, les valeurs des mêmes quantités après l'écoulement, cette intégration conduit à

$$10330 \log hyp. \frac{V_1}{V_0} = \left(\frac{1}{A} c D - 10330\, a\right) \frac{1}{a} \log hyp. \frac{1 + at_0}{1 + at_1},$$

d'où l'on tire, en observant que le rapport des logarithmes hyperboliques est le même que celui des logarithmes ordinaires,

$$(4) \qquad \frac{1}{A} = \frac{10330\, a}{cD} \left(1 + \frac{\log \frac{V_1}{V_0}}{\log \frac{1 + at_0}{1 + at_1}}\right)$$

Pour remplacer les valeurs de V et t par les pressions, il suffit de rappeler qu'en appelant P_2 la pression observée après le réchauffement, on a

$$\frac{P_0 V_0}{1 + at_0} = \frac{P_1 V_1}{1 + at_1} = \frac{P_2 V_1}{1 + at_0}.$$

D'où l'on tire

$$\frac{V_1}{V_0} = \frac{P_0}{P_2} \qquad \frac{1 + at_0}{1 + at_1} = \frac{P_2}{P_1},$$

Et, en substituant, il vient enfin

$$(5) \qquad \frac{1}{A} = \frac{10330\, a}{cD} \left(1 + \frac{\log \frac{P_0}{P_2}}{\log \frac{P_2}{P_1}}\right)$$

C'est cette formule qui nous a servi dans tous nos calculs.

CORRECTION.

Mais la valeur dont nous venons de parler pour l'équivalent mécanique de la chaleur est certainement trop grande.

Il est clair que pendant la détente l'air renfermé dans l'appareil reçoit, par radiation et par contact, une certaine quantité de chaleur du réservoir, comme dans la période proprement dite de réchauffement. Cette chaleur concourt avec celle enlevée au gaz au développement du travail de détente.

Si nous comparons sous ce rapport les deux phases principales de chaque expérience, et si nous remarquons qu'en six minutes l'échauffement produit par le réservoir rétablit l'équilibre de température, on acquerra la certitude qu'il importe de faire, ainsi que nous l'avons dit déjà, des expériences de courte durée.

Dans l'écoulement du 18 février, par exemple, qui a été prolongé sans interruption pendant vingt-cinq secondes, la quantité de chaleur que l'on a négligé d'introduire dans la formule (causant la diminution de P_2 par excès de gaz sorti, et l'accroissement de P_1, par l'échauffement du gaz du réservoir) est assez grande pour que la valeur de $\frac{1}{A}$ qui est déduite de notre formule générale s'élève à

$$\frac{1}{A'} = 675,$$

c'est-à-dire à un nombre notablement plus grand que le chiffre normal. Nous laissons de côté cette valeur et quelques autres qui sont analogues et qui proviennent uniquement de déterminations faites dans le but d'étudier l'influence d'un écoulement de longue durée.

Mais, même dans les meilleures expériences, la chaleur introduite par le réservoir, pendant l'écoulement, doit donner lieu à une correction, qui sera, toutes choses égales d'ailleurs, d'autant plus petite que la différence finale de la température, dans chaque expérience individuelle, sera moindre.

La courbe des réchauffements a été généralement assez bien tracée dans nos diagrammes pour que nous ayons pu nous livrer

à quelques vérifications numériques sur l'influence de l'enveloppe. On trouve que les éléments du calcul satisfont, avec une assez grande exactitude, à la loi de Newton sur la proportionnalité entre la transmission de la chaleur et la différence des températures.

Nous aurions pu déduire de cette analyse la valeur exacte du coefficient qu'il convient d'appliquer à cette loi fondamentale pour représenter les données déduites des expériences faites.

Connaissant aussi le coefficient de radiation pour chacune de nos déterminations, il suffirait de faire entrer cette cause de variation de température, avec le refroidissement produit par la détente, dans une même relation différentielle, pour en déduire la loi réelle du refroidissement pendant la détente et par conséquent les éléments de la correction.

Nous indiquerons seulement un moyen plus sommaire de faire cette correction d'une manière approximative.

Remarquons d'abord que si nous désignons par T un travail quelconque résultant d'une certaine dépense de chaleur trouvée d'abord égale à Y' et que nous en ayons déduit par la relation

$$T = \frac{1}{A'} Y',$$

une première évaluation $1/A'$ de l'équivalent mécanique de la chaleur, pour un travail connu exactement et une évaluation trop faible de la chaleur, il suffirait de connaître avec plus d'exactitude la véritable quantité de chaleur Y à substituer à Y' pour en déduire la valeur exacte de $\frac{1}{A}$, on aurait en effet;

$$\frac{1}{A'} Y' = \frac{1}{A} Y$$

et

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{A'} \times \frac{Y'}{Y}.$$

La question se réduit donc à chercher dans quelle proportion la quantité de chaleur précédemment introduite dans le calcul doit être augmentée pour tenir compte de l'échauffement pendant la détente.

Or, dans nos expériences on doit remarquer que la chaleur transmise par le réservoir, pendant cette période, peut se déduire de l'examen de la période de réchauffement.

Dans les deux phases de l'opération, la même paroi, maintenue à température constante, agit sur le gaz emprisonné, dont la température varie d'abord de t_0 à t_1, puis de t_1 à t_0. Les différences de température sont ainsi comprises, dans les deux cas, entre les mêmes limites, d'ailleurs très-rapprochées l'une de l'autre.

Toutefois il n'est pas possible d'assimiler complétement les durées de ces variations, parce que le réchauffement s'opère avec une lenteur croissante à mesure que l'excès de température diminue, que la durée devient très-grande lorsque cet excès est presque nul, tandis que, lors de l'écoulement, l'intervalle de temps correspondant a été très-petit.

Pour tenir compte de cet effet, nous avons cherché, d'après la courbe de relèvement, le temps n' qui correspond à la moitié de la différence $\left(\frac{t_0 - t_1}{2}\right)$ des températures, et nous avons admis que pendant les n secondes qui forment la durée de l'écoulement, le réchauffement par la paroi a lieu dans des conditions semblables à celles de cette première période.

Il y aurait encore à tenir compte de ce qu'une partie de cette chaleur de réchauffement a pu être emportée par le gaz qui s'est écoulé dans l'atmosphère, mais il nous semble inutile de faire cette seconde correction tout à fait minime.

Comme $Y' = mc'(t_0 - t_1)$, et que la chaleur répondant à la correction est égale à un même réchauffement en quantité réduite dans le rapport des temps, c'est-à-dire à $mc'(t_0 - t_1)\frac{n}{2n'}$, nous écrirons donc

$$Y = Y'\left(1 + \frac{n}{2n'}\right)$$

et par suite

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{A'} : \left(1 + \frac{n}{2n'}\right).$$

D'après les relevés minutieusement faits de dix courbes du

12 février on trouve $\frac{n}{n'} = 0{,}10$, ce qui conduirait à la valeur corrigée

$$\frac{1}{A} = \frac{476{,}66}{1{,}05} = 453.$$

qui se réduirait à $\frac{1}{A} = 433$ en n'introduisant dans la formule de correction que la moitié du réchauffement, relativement ralenti du réservoir, à mesure qu'on s'éloigne du commencement du réchauffement.

L'application de la loi de Newton faite en partant des excès de température du réservoir, tant sur la température moyenne du gaz pendant l'écoulement, que sur celle indiquée par la courbe de réchauffement, pour une *durée égale* à celle de l'écoulement, conduit à une correction encore un peu moindre que la première.

En indiquant provisoirement ce chiffre, nous devons d'ailleurs déclarer qu'il pourra se modifier quelque peu par suite de nouvelles recherches à faire et d'une complète discussion.

REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DES RÉSULTATS.

Croyant fort utile de montrer combien les expériences faites dans cet ordre d'idées doivent exercer d'influence sur la complète divulgation de la théorie mécanique de la chaleur, nous avons reproduit, d'après les mêmes données expérimentales, le diagramme du travail développé dans les dix détentes successives des expériences du 12 février.

Puisque nous connaissons les pressions $P_0, P_1, P_2 \ldots$ d'un même gaz à la même température t_0 à laquelle il est toujours ramené dans le réservoir, nous pourrons prendre ces pressions pour les ordonnées successives de l'hyperbole équilatère donnée par la relation $V_2\ P_2 = V_0\ P_0$, dans laquelle nous supposerons $V_0 = 1$.

Cette courbe serait celle de la détente du gaz à température constante et si, sur les mêmes ordonnées, nous portons les pressions $P_1\ P_2 \ldots$ qui sont observées à la fin de chaque écoulement, nous obtiendrons la véritable courbe de chaque détente par-

tielle en joignant par un tracé convenable l'extrémité de chaque ordonnée P_2 de l'hyperbole à l'ordonnée suivante P_1. On obtient ainsi une suite de ressauts formés par des arcs de la courbe (PV^k = constante) de Poisson (*) et ces ressauts expriment que la

(*) *Observation sur la formule de Poisson.* — La formule de Poisson, à laquelle nous faisons allusion, est celle de la seconde édition de son *Traité de mécanique* (page 647). Il est curieux de constater que cette formule trouvée alors qu'on partait de l'existence du calorique est parfaitement exacte.

Dans cette formule $p' = p\left(\frac{\rho'}{\rho}\right)^{\gamma}$, ρ' et ρ sont les densités d'un même gaz correspondant aux pressions p' et p, et l'exposant γ est le rapport $\frac{c}{c'}$, entre les capacités à pression constante et à volume constant.

Si nous désignons par les lettres v et t, affectées des mêmes indices, le volume et la température de la masse gazeuse dans ses différents états, nous aurons $\frac{p'v'}{1+at'} = \frac{pv}{1+at}$, d'où l'on tire $\frac{p'}{1+at'} : \frac{p}{1+at} = \frac{v}{v'}$, ou, ce qui revient au même, $\frac{\rho'}{\rho} = \frac{v}{v'}$.

La formule de Poisson peut donc se mettre sous la forme $p' = p\left(\frac{v}{v'}\right)^{\gamma}$, ou, ce qui revient au même, $\log\frac{p'}{p} = \gamma \log\frac{v}{v'}$.

Elle devient ainsi identique à celle que nous avons employée, si l'on remarque que $\frac{c}{c}$ est précisément égal à $\frac{c}{c - \frac{10\,330\,\mathrm{A}a}{\mathrm{D}}}$,

En introduisant dans la formule cette valeur de γ, on trouve :

$\log\frac{p'}{p} = \frac{c\mathrm{D}}{c\mathrm{D} - 10330\,\mathrm{A}a} = \frac{v}{v'}$, d'où l'on tire

$$\frac{1}{\mathrm{A}} = \frac{10330\,a}{c\mathrm{D}}\left(\frac{\log\frac{p'}{p}}{\log\frac{p'}{p} - \log\frac{v}{v'}}\right) = \frac{10330\,a}{c\mathrm{D}}\;\frac{\log\frac{p'}{p}}{\log\frac{p'v'}{pv}},$$

$$= \frac{10330\,a}{c\mathrm{D}}\left(\frac{\log\frac{v}{v'}\,\frac{1+at'}{1+at}}{\log\frac{1+at'}{1+at}}\right) = \frac{10330\,a}{c\mathrm{D}}\left(1 + \frac{\log\frac{v'}{v}}{\log\frac{1+at}{1+at'}}\right)$$

c'est-à-dire la formule (4) donnée précédemment (page 376).

détente se fait non plus à température constante, mais à chaleur constante, après chaque relèvement déterminé par les augmentations de pression dues à la chaleur restituée par le réservoir.

La régularité avec laquelle se trouvent placés les différents sommets P_1 qui sont uniquement déduits de l'observation, donne bien l'idée d'un phénomène qui se reproduit toujours le même, chaque fois que la détente s'effectue sans restitution appréciable de chaleur.

La courbe échelonnée ainsi construite serait celle que l'on obtiendrait avec un indicateur très-sensible, installé à la manière de ceux que l'on emploie dans les essais des machines à vapeur.

CONCLUSIONS.

Les indications qui précèdent suffisent pour faire voir que les principaux résultats à déduire de notre travail sont les suivants :

1° La théorie de l'équivalent mécanique de la chaleur rend compte, avec fidélité, de toutes les circonstances de la détente des gaz, soit à température constante, soit à chaleur constante, soit enfin avec réchauffement simultané. Nous n'avons toutefois opéré jusqu'ici qu'entre les limites de une à trois atmosphères.

2° En partant du nombre 0,237, déterminé avec tant de soin par M. Regnault pour l'air atmosphérique, pour valeur de sa capacité à *pression constante*, le chiffre auquel nous nous trouvons conduits serait supérieur à celui qui est généralement admis pour la valeur de l'équivalent mécanique de la chaleur.

3° Le mode de fractionnement adopté pour étudier les variations de température résultant de la détente du gaz nous a permis de représenter, d'une manière plus sensible, la marche des phénomènes et s'est traduit par la manifestation de différences de température très-considérables.

En adoptant un fractionnement encore plus multiplié, nous sommes arrivés déjà à des déterminations plus directes, et la valeur définitive de l'équivalent mécanique de la chaleur apparaît comme une limite dont on pourra, par des procédés analogues, approcher de plus en plus.

4° La disposition adoptée pour le tracé des diagrammes permet de porter, jusque dans ces phénomènes délicats, l'emploi

des méthodes d'observations par tracés automatiques, amenant avec elles un nouveau degré d'évidence.

5° La masse d'air, contenue dans un cylindre de 1 mètre de diamètre, obéit plus rapidement qu'on ne le pense généralement aux influences calorifiques qui peuvent agir sur elle, par radiation ou par contact.

Pour des différences de température qui ont été portées jusqu'à 30°, le réchauffement a toujours été complet en moins de dix minutes.

6° La loi de ce réchauffement est bien celle de la proportionnalité entre les quantités de chaleur transmises et les différences de température, dans les limites des expériences faites.

Ces conclusions reposent sur l'observation de phénomènes produits, sur une échelle, pour ainsi dire, inusitée dans la plupart des recherches physiques.

Voici, en effet, les principaux chiffres de nos expériences du 12 février :

Le volume de l'air comprimé qui s'est détendu dans cette expérience était de $3^{mc},208$.

Ce volume est en définitive celui de notre thermomètre.

La pression initiale de cet air était $2275,51 : 760 = 2^{at},994$.

Son poids se calcule par $3,208 \times 2,994 \times 1,293 = 9^{k},604$.

La différence de température écrite sur les diagrammes s'est élevée à 102°,18.

Le nombre des calories correspondant à ce refroidissement de 102°,18 s'est élevé, pour la masse d'air totale, jusqu'à 220°.

Enfin la détente, que nous avons ainsi étudiée dans ses différentes parties, et sur la masse d'air emprisonnée, représente, au point de vue dynamique, un travail de 96,000 kilogrammètres.

CONTINUATION DES EXPÉRIENCES.

Nous sommes bien loin encore d'avoir pu tirer de notre installation tous les résultats qu'elle doit nous permettre de constater.

Nous pensons à opérer prochainement sur des pressions beau-

coup plus élevées, et il sera intéressant de substituer à l'air sec d'autres gaz.

Mais, avant d'entrer dans cette voie, il nous a paru nécessaire de soumettre au jugement de l'Académie notre méthode expérimentale, dans l'espoir que ce jugement nous indiquera les points sur lesquels il semblerait que dèvraient porter nos efforts.

Les phénomènes se manifestent et s'écrivent avec une facilité extrême, dans des conditions inusitées. Nous serons heureux de toutes les occasions qui pourraient nous être données de renouveler les expériences devant les savants qui voudraient bien y prendre quelque intérêt.

Légende de la planche 39.

La planche représente en élévation l'ensemble des appareils qui ont servi aux expériences; quelques-unes des parties de ces appareils ont été déplacées de manière à pouvoir être figurées sur le dessin.

A, grand réservoir à air comprimé, peint et mastiqué à l'intérieur, et pouvant résister à une pression de 20 atmosphères.

B, manchon en tôle rempli d'eau et destiné à refroidir l'air comprimé au moyen de la pompe d'alimentation, au moment de son arrivée dans le réservoir.

C, pompe d'alimentation munie de son couvercle de retenue *c*, à garniture étanche.

D, piston de cette pompe suspendu à la bielle E. Cette bielle est représentée après que l'introduction de l'air est terminée. Pour remettre la pompe en fonction, on place le collier *e* sur l'excentrique *e'* de l'arbre de transmission M M, et on attache, après l'introduction du piston D dans le corps de la pompe, la membrane *f* autour de la bride C, de manière à former joint étanche.

L'air est puisé par les tuyaux *g g' g''* dans les réservoirs successifs G G' G'', garnis de clayonnages couverts de chaux vive dans lesquels on maintient, à l'aide du ventilateur *h*, un petit excès de pression pour empêcher toute introduction par les fentes qui pourraient se former à l'extérieur des réservoirs. On

est assuré, de cette façon, de ne faire entrer dans le réservoir A que de l'air sec, ayant séjourné pendant quelque temps en contact avec la chaux.

H, manomètre à mercure indiquant à chaque instant, par la différence de niveau des deux colonnes, la pression dans l'intérieur de l'appareil.

K, cathétomètre visant le menisque de la colonne qui est directement en communication avec l'air du réservoir.

K', cathétomètre servant à viser le niveau du mercure dans la branche ouverte.

k, poulie du flotteur en verre, à contrepoids, qui monte et descend avec la colonne de la branche ouverte.

La petite aiguille aimantée *l*, attirée du côté du verre par une barre aimantée placée derrière l'appareil, est chargée d'enregistrer toutes les variations du niveau de la manière suivante :

N, moteur chronométrique à mouvement continu, dont la poulie *n* est embrassée par la corde *n n'* chargée de poids à ses deux extrémités.

Cette corde est interrompue de *p* en *p'*, et attachée au chariot R dont les roues peuvent cheminer sur une voie bien dressée S.

T, tableau fixé verticalement sur le chariot. Il porte une plaque de verre enfumée, sur laquelle l'aiguille magnétique trace ses indications pendant le déplacement uniforme du chariot.

En réalité les diagrammes ainsi tracés avaient un mètre de long, et l'on a cherché à reproduire, sur la figure, l'un de ceux qui ont été obtenus dans une expérience à écoulement très-prolongé.

V, robinet d'écoulement du gaz, que l'on manœuvrait avec une longue clef de manière à faire varier, avec précision, la grandeur de l'orifice réel d'écoulement.

Toutes les parties de cet appareil sont représentées à la même échelle de $0^m,04$ pour mètre.

Nous ferons suivre notre travail du rapport dont il a été l'objet à l'Académie des Sciences, rapport qui renferme sur les relations de la théorie nouvelle de la chaleur et les principes de la mécanique, des vues aussi justes que profondes.

RAPPORT

sur le Mémoire de MM. H. Tresca et Ch. Laboulaye, intitulé :

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES SUR LA THÉORIE MÉCANIQUE DE LA CHALEUR.

COMMISSAIRES :

MM. Regnault, Piobert, Combes, Bertrand, Morin, *rapporteur*.

« L'Académie nous a chargés d'examiner le mémoire qui lui a été présenté, dans la séance du 22 février 1864, par MM. H. Tresca et Ch. Laboulaye, et qui a pour objet la discussion des résultats d'expériences nouvelles, relatives à la théorie mécanique de la chaleur, exécutées au Conservatoire des arts et métiers.

« Depuis 1824, époque à laquelle Sadi Carnot, capitaine du génie, publia ses *Réflexions sur la puissance du feu* et appela sur la production de travail mécanique due à la chaleur l'attention des physiciens et des mécaniciens, de nombreux mémoires ont été écrits ou publiés, des expériences multipliées ont été faites pour établir le véritable rapport entre le travail mécanique et les quantités de chaleur qui lui correspondent.

« Tous les mécaniciens éclairés ont admis comme un principe incontestable que la chaleur est une source de travail, et qu'il devait exister, entre les quantités de chaleur développées ou consommées et le travail mécanique produit, des relations qui liaient ensemble ces deux phénomènes, regardés jusqu'alors comme à peu près distincts et d'ordres différents.

« Mais Sadi Carnot, esprit spéculatif plutôt qu'observateur,

n'avait pas soumis ses idées et ses conclusions à la sanction de l'expérience, et, poussant trop loin ses déductions, il était tombé dans une erreur grave, qui semblait conduire à admettre que le travail mécanique pouvait être produit sans consommation ou sans disparition d'une certaine quantité de chaleur.

« Carnot se trompait, en effet, quand il disait (p. 10 et 11) :

« La production de la puissance motrice est due, dans les « machines à vapeur, non à une consommation réelle du calo- « rique, mais à son transport d'un corps chaud à un corps froid, « c'est-à-dire à son rétablissement d'équilibre, équilibre supposé « rompu par quelque cause que ce soit. »

« Cette conclusion est inexacte et démentie par toutes les expériences modernes. Il convient même d'ajouter qu'en ce qui concerne la machine à vapeur, le raisonnement de l'auteur n'est pas plus vrai pour les machines à pleine pression que pour les machines à détente, et qu'il y a seulement à établir entre elles cette différence que, pendant la période de détente, la communication avec la chaudière, source continue de la chaleur motrice, étant interrompue, l'abaissement de température et la transformation de la chaleur en travail sont aussi évidents que quand il s'agit d'un gaz qui se dilate, tandis que, pendant la période d'admission à pleine pression, la vapeur, qui parcourt les conduits et sert de véhicule à la chaleur, est en communication constante avec la chaudière qui, par son intermédiaire, remplace incessamment dans le cylindre la chaleur transformée en travail.

« Selon que les proportions des passages et la vitesse du piston le permettent, cette restitution de chaleur et le maintien de la pression motrice dans le cylindre, qui en est la conséquence, sont plus ou moins complets. C'est ainsi que, dans les machines fixes bien proportionnées et dont le piston marche à des vitesses modérées, la pression dans le cylindre pendant la période d'admission ne diffère pas sensiblement de celle de la chaudière, tandis que, dans les machines locomotives, malgré la grandeur des lumières d'admission, la pression dans le cylindre, par suite de la vitesse du piston, est toujours très-inférieure à celle de la chaudière.

« Si quelques expérimentateurs ont cru trouver dans les machines à basse pression une égalité entre la chaleur contenue

dans la vapeur formée dans la chaudière et celle que renferme l'eau sortie du condenseur, cela ne peut être qu'une erreur d'observation, que les considérations précédentes ne permettent pas d'accepter.

« C'est une erreur d'appréciation du même ordre qui a conduit certains ingénieurs à admettre pendant quelque temps que le travail utile d'appareils mus par une machine à haute pression, dont la vapeur d'échappement était employée à des chauffages, pouvait en réalité être obtenu sans dépense de combustible.

« Ces observations sur le point de vue incomplet qui domine dans l'opuscule si remarquable de Carnot expliquent pourquoi les idées qu'il avait émises ont eu peine à prendre cours dans la science. Il ne lui en restera pas moins la gloire d'avoir posé la question et d'avoir ainsi provoqué les nombreuses études auxquelles elle a donné lieu.

« Nous nous abstiendrons dans ce rapport de rechercher la suite historique de ces études, auxquelles bien des physiciens se sont livrés, et nous nous bornerons à faire connaître les procédés d'observation mis en œuvre par MM. Tresca et Laboulaye, ainsi que les résultats auxquels ils sont parvenus.

« Leur but était de fournir à la science de l'ingénieur une justification simple et nouvelle du principe fondamental de la théorie de l'équivalent mécanique de la chaleur, et d'en déterminer la valeur dans des conditions plus variées et pour des limites plus étendues que celles que l'on avait observées jusqu'à ce jour.

« Cependant il ne sera pas inutile d'appeler l'attention sur certaines conséquences peu exactes que l'on a tirées du principe de l'équivalence mécanique de la chaleur et du travail.

« Il n'est pas rare, en effet, que des faits nouveaux, des doctrines qui, par leur originalité imprévue, viennent éclairer l'esprit humain, le conduisent à des exagérations, à des conclusions qui dépassent les limites de la vérité. Aussi est-il arrivé que des physiciens distingués ont cru trouver dans ces doctrines et dans les conséquences auxquelles elles donnaient lieu, une contradiction avec les principes et les règles de la mécanique. Il importe de montrer en quelques mots qu'il n'en est rien.

« Les physiciens qui ont regardé les phénomènes mécaniques

qui déterminent ou accompagnent le développement de la chaleur comme une sorte de contradiction des principes qui servent de base à la théorie des machines, ont particulièrement insisté sur les circonstances que présente la consommation de travail observée dans le frottement des organes. Mais en contestant que la considération directe de la résistance développée dans ce cas puisse conduire à rendre un compte exact de la différence qui existe toujours dans une machine entre le travail moteur et le travail utile et en cherchant exclusivement l'explication des différences observées dans le développement de chaleur qui se produit alors, ils n'ont pas fait attention que le frottement n'est que la conséquence et l'indice de l'altération des surfaces ou des enduits. Cela est si vrai, qu'à mesure que les corps sont plus polis ou plus durs, que les enduits sont plus fluides ou plus également renouvelés, l'intensité du frottement et le développement de chaleur qui l'accompagne diminuent simultanément.

« A l'inverse, quand l'enduit vient à manquer, quand les pressions deviennent trop fortes, le frottement augmente en même temps que la chaleur, l'altération des surfaces s'accroît, et la chaleur développée peut s'élever jusqu'à produire la fusion des coussinets ou des boîtes de roues.

« Sans doute, si l'on pouvait, dans chaque cas, calculer ou déterminer par expérience la quantité de chaleur qui a été développée dans le glissement d'un corps sur un autre, et si l'on connaissait bien définitivement la quantité qu'on nomme l'équivalent mécanique de la chaleur, on pourrait, sans se préoccuper de l'intensité des pressions, de la nature des enduits, de leur renouvellement plus ou moins régulier, en déduire la quantité de travail qui constitue la différence du travail utile au travail moteur.

« Mais cette mesure de la chaleur développée, si délicate et si difficile déjà dans les appareils simples des cabinets de physique, ne saurait être réalisée pratiquement quand il s'agit des machines, tandis que les expériences spéciales qui ont servi à déterminer les lois approximatives que suit le frottement de glissement dans les différents cas permettent de calculer directement la quantité de travail qui a été absorbée par l'action de cette résistance.

« Par suite de la relation que les expériences récentes ont conduit à reconnaître entre la quantité de chaleur développée et celle transmise aux organes des machines et plus ou moins dispersée dans l'espace sans profit industriel, la considération directe du frottement comme résistance passive propre n'apparaît plus, il est vrai, que comme un moyen intermédiaire d'évaluation du travail correspondant à cette quantité de chaleur, mais elle n'en constitue pas moins un procédé logique, suffisamment exact, approximatif et commode, de se rendre compte de la disparition apparente du travail moteur, disparition qui n'est en réalité qu'une transformation en chaleur non utilisable dans la grande généralité des cas.

« L'emploi de cette sorte de considération intermédiaire entre le travail correspondant ou équivalent à la quantité de chaleur développée est ici tout à fait analogue au rôle que joue le frottement dans les expériences faites avec le frein de Prony pour mesurer l'effet utile ou ce qu'on nomme le rendement d'un récepteur de travail moteur. Le frottement exercé à la circonférence du collier du frein n'entre pour rien dans le calcul des résultats définitifs des expériences, mais il fait équilibre, d'une part à la puissance, et de l'autre à la résistance, et sert à établir l'égalité du travail utilisé par le récepteur et du travail correspondant à l'élévation fictive de la charge du frein.

« Ce que nous venons de dire du frottement de glissement s'applique également au roulement des corps les uns sur les autres, soit qu'il y ait dans cette action broiement, séparation des molécules des corps, ou simple altération de leur élasticité, soit même que leur élasticité reste intacte après le passage des corps roulants.

« Dans tous ces cas, la détermination directe de la résistance et du travail qu'elle consomme est la seule mesure possible des effets des phénomènes plus ou moins complexes qui s'accomplissent et qui sont accompagnés d'un développement de chaleur inconnu.

« Enfin, lors même que l'élasticité n'est pas altérée au moment du contact, comme les éléments des corps roulants et ceux de la voie parcourue ne reprennent leur forme et leur température primitive qu'après le passage, la puissance motrice n'en a pas moins consommé une certaine quantité de travail non utili-

sée pour produire les compressions et les développements de chaleur qui en sont la conséquence et qui constituent le déficit de travail occasionné par le roulement.

« Pareille chose peut encore être dite des consommations de travail causées par les chocs, et qui se manifestent à la suite des compressions, des allongements, des flexions qu'ils déterminent. Par la considération des pertes de force vive qui se produisent alors, le calcul permet de déterminer les consommations de travail qui en sont la conséquence, et qui ont été transformées en quantités de chaleur non utilisées, et qu'on ne peut mesurer dans les machines.

« Ajoutons enfin qu'il n'existe dans la nature, ni corps parfaitement polis et incompressibles, qui, après avoir été soumis à des pressions accompagnées de glissement ou de roulement, soient inaltérés dans leurs surfaces ou dans leurs formes, ni enduits parfaitement fluides, et que le travail moléculaire qui résulte de ces efforts ne peut jamais être considéré comme nul, sans qu'il en soit de même des quantités de chaleur qui en seraient l'équivalent.

« Les considérations basées sur de semblables hypothèses, en contradiction manifeste avec les conditions de la constitution des corps de toute nature, loin de jeter du jour sur la question, ne peuvent servir qu'à rendre obscur le principe que toutes les expériences tendent à rendre évident et incontestable, à savoir : que toute production de travail est la conséquence d'une consommation de chaleur qui en est l'équivalent, et que toute consommation apparente ou latente de travail est la conséquence du développement d'une quantité de chaleur qui lui est également proportionnelle; les réciproques de ces propositions fondamentales étant également vraies.

« C'est ainsi que l'idée de l'équivalent mécanique de la chaleur, en s'affirmant de plus en plus, ne modifie en rien ni les principes, ni les lois, ni les formules de la dynamique.

« Mais si le principe est aujourd'hui corroboré par de nouvelles et ingénieuses expériences faites par d'autres physiciens, et s'il est généralement admis qu'il existe entre les quantités de chaleur dépensées ou développées, et le travail qui leur correspond, un rapport constant que l'on nomme l'équivalent mécanique de la chaleur, la difficulté que présente la détermination

de ce rapport n'a pas encore permis d'en fixer la valeur d'une manière certaine et tout à fait incontestée.

« Les expériences de cette nature sont en effet fort délicates, et tous les corps ne se prêtent pas également à leur exécution.

« Dans les solides, le développement de la chaleur est toujours accompagné de mouvements, de déplacements, et par suite d'actions moléculaires qui absorbent, sous le nom de travail intérieur, une portion notable et inconnue jusqu'ici du travail correspondant à la quantité de chaleur mise en jeu, et dès lors le rapport entre cette quantité de chaleur et le travail, calculé d'après le changement de la forme extérieure, ne peut être déterminé avec exactitude. Aussi, toutes les expériences exécutées sur les déformations des solides et les calculs directs que l'on peut établir à l'aide de la connaissance de leur coefficient d'élasticité, de leur dilatation et de leur chaleur spécifique, ne sauraient-ils conduire à des résultats exacts.

« Des effets analogues se produisent, quoique à un degré sensiblement plus faible, lorsque l'on opère sur des liquides, parce que les résistances moléculaires qui sont mises en jeu dans leurs déformations ont une intensité bien inférieure à celle des solides. Mais il n'en résulte pas moins une réelle incertitude sur les résultats obtenus en opérant sur l'eau et sur le mercure.

« Les résultats des expériences nombreuses qu'un savant et persévérant ingénieur a faites sur des machines à vapeur, en cherchant à déterminer la quantité de chaleur qui se transforme en travail moteur dans les parcours de la vapeur, depuis la chaudière jusqu'au condenseur, sont aussi, malgré tous les soins de l'auteur, sujettes à une incertitude analogue. Une partie très-notable du travail de la chaleur est absorbée par les frottements, par les ébranlements de l'appareil, en même temps qu'une portion non moins importante de la chaleur introduite par la vapeur est dissipée dans l'espace. Ce sont là des causes d'incertitude et d'erreur auxquelles tout le talent et toutes les précautions de l'observateur le plus habile ne sauraient échapper complétement.

« Les gaz, par suite de la mobilité de leurs éléments, se prêtent beaucoup mieux aux observations dont il s'agit, et leur emploi permet d'étendre les expériences à des quantités de cha-

leur et de travail considérables, ce qui peut assurer aux évaluations une grande exactitude.

« Mais pour montrer aux ingénieurs que les résultats des expériences faites dans les cabinets de physique peuvent être étendus aux phénomènes que présentent les grands appareils de l'industrie, il était nécessaire que la détermination de l'équivalent mécanique de la chaleur fût faite à l'aide d'expériences où les températures, les quantités de chaleur développées aient varié dans des limites beaucoup plus étendues que celles qui ont été obtenues jusqu'à ce jour, afin de donner à cette valeur un degré de certitude et de précision que ne pouvaient fournir celles qui étaient déjà connues.

« Si l'on se reporte, en effet, aux expériences du savant physicien auquel on doit les premières déterminations de l'équivalent mécanique de la chaleur, l'on voit que les différences de températures observées ont été dans les expériences :

	Degrés centigrades.
Sur le frottement de l'eau contre une roue à palettes, par M. Joule (1845 et 1857), en moyenne, de....	0,320
Sur le frottement du mercure contre une roue à palettes, par M. Joule (1850), en moyenne, de............	0,508 à 1,340
Sur le frottement du fer sur le fer, dans le mercure, par M. Joule (1850), en moyenne, de............	2,37 et 0,84

« Or, en considérant dans quelles limites restreintes cet habile physicien a opéré, et en songeant à toute la délicatesse de ces expériences, on se demande ce que l'on doit le plus admirer de l'ingéniosité des recherches ou de la hardiesse avec laquelle leur auteur a osé, par une sorte d'intuition, baser sur des observations si restreintes la généralité de la loi et la valeur même de l'équivalent mécanique de l'unité de chaleur.

« Cette remarque n'a nullement pour but d'atténuer le mérite des belles recherches de M. Joule, auquel revient incontestablement, selon nous, l'honneur d'avoir le premier assigné une valeur très-probablement voisine de l'exactitude à cet équivalent mécanique de l'unité de chaleur; mais elle justifie ce que nous venons de dire de l'utilité d'expériences faites sur une échelle plus grande ou sur des variations de température bien plus étendues, afin de donner à la démonstration plus de généralité, et à la détermination expérimentale plus de certitude.

« Il convient en effet de remarquer que dans ces recherches

où la valeur de l'équivalent mécanique de la chaleur est donnée par le rapport du travail développé, toujours facile à déterminer et généralement assez grand, à une variation de température ordinairement assez faible, de légères erreurs d'observation sur cette dernière quantité peuvent jeter beaucoup d'incertitude sur la valeur cherchée.

« Les variations de pression et de température qui se produisent lorsque de l'air ou un gaz quelconque, soumis dans un récipient à une pression plus ou moins considérable, s'écoule dans l'atmosphère, ont depuis longtemps appelé l'attention des physiciens. Les observations ont eu dans l'origine pour principal but de déterminer les valeurs absolues et le rapport de la capacité des gaz pour la chaleur quand ils sont maintenus à pression constante, ou qu'ils conservent un volume constant.

« Clément Desormes entreprit à ce sujet, à la demande de M. de Laplace, des recherches dont les résultats ont été présentés à l'Institut en 1812, et dans lesquelles il opéra avec un récipient qui n'avait qu'une capacité de 10 litres.

« MM. Gay-Lussac et Welter renouvelèrent l'expérience et parvinrent à une appréciation plus exacte du rapport de ces capacités.

« Plus récemment, M. Cazin, professeur de physique, a repris cette recherche, et, pour échapper, autant qu'il le pouvait, aux difficultés que les dimensions, forcément trop restreintes, des appareils ordinaires de physique apportent à la détermination exacte des résultats et aux perturbations dont il est souvent impossible d'apprécier la cause, il a opéré à l'aide de récipients contenant 60 litres de gaz. Mais malgré tous ses soins et l'ingéniosité de ses moyens d'observation, il n'a pu complétement éviter ces incertitudes, par suite de la grandeur relative de l'orifice d'écoulement de son appareil et de quelques autres circonstances.

« Plus favorisés par les moyens dont ils disposaient au Conservatoire des arts et métiers, MM. Tresca et Laboulaye ont pu opérer avec des récipients de plus de 3,000 litres de capacité, et, par conséquent, bien plus considérables que tous ceux qu'on avait employés avant eux; et en produisant l'écoulement de l'air par un orifice relativement très-petit, ils ont rendu le mouvement de détente opéré dans leur récipient tellement lent, que son influence sur les résultats est devenue à peine sensible.

« Des expériences ayant aussi pour objet la détermination des deux capacités des gaz pour la chaleur, et la déduisant d'observations faites sur la vitesse du son, ont été poursuivies avec persévérance sur une grande échelle par notre confrère, M. Regnault; elles conduiront sans doute à des déterminations précises que les amis de la science accueilleront avec le plus grand intérêt.

« Placés à un autre point de vue, les auteurs dont nous avons dû examiner le travail, désireux de propager parmi les ingénieurs, et à l'aide d'expériences où les phénomènes mécaniques ordinaires jouent le principal rôle, la doctrine nouvelle et si importante des rapports qui lient la chaleur et le travail mécanique, ont cru devoir suivre la direction déjà adoptée par quelques-uns de leur prédécesseurs, en modifiant les procédés d'observation et le mode de discussion des résultats.

« Par la grandeur des volumes mis en jeu, par les limites étendues de pression et de variations de températures dans lesquelles ils ont opéré, ils ont échappé en partie aux difficultés que nous avons signalées, et par le soin qu'ils ont apporté à tenir compte de toutes les circonstances essentielles des phénomènes observés, ils ont pu parvenir à des déterminations qui, en étendant le champ de la vérification de la loi de physiqu mécanique qu'ils étudiaient, ont en même temps fourni une valeur très-approchée de la quantité cherchée, et montré sa constance.

« La description du procédé d'expérimentation adopté par les auteurs nous entraînerait au delà des limites d'un rapport; or la trouvera d'ailleurs complète dans le mémoire et dans les des sins qui l'accompagnent, et nous nous bornerons à dire en termes généraux qu'il consistait à comprimer à l'avance, jusqu'à plusieurs atmosphères, de l'air desséché à la chaux dans un réservoir cylindrique, à bases hémisphériques, en forte tôle et de 3^{mc},208 de capacité.

« Lorsque la température était devenue invariable, en ouvrant rapidement, et pendant 5 secondes ordinairement, un robinet placé dans l'axe du cylindre, on laissait échapper une certaine quantité d'air. La température de l'intérieur du réservoir s'abaissant, on pouvait déduire de sa connaissance une relation entre les variations des températures et des pressions de l'air

contenu dans les réservoirs qui conduisait à la valeur cherchée de l'équivalent mécanique.

« Pour échapper à la difficulté et aux incertitudes de la mesure directe des températures variables de l'air dans le réservoir, les auteurs y ont substitué celle des pressions, au moyen d'un tube barométrique à siphon dans lequel on observait les hauteurs des colonnes de mercure à l'aide de deux cathétomètres. Ce tube était muni d'un flotteur et d'un contre-poids porteur d'un style, qui traçait sur une glace enfumée, animée d'un mouvement uniforme connu, une courbe qui donnait la valeur et la loi de la variation de la pression. Puis, à l'aide de la loi de Gay-Lussac combinée avec celle de Mariotte, on en déduisait ensuite facilement celle des températures.

« Immédiatement après la fermeture du robinet, la température et la pression intérieure du réservoir croissaient, leur marche était de même indiquée par le style du tube barométrique, et quand elles était revenues à un état stable, correspondant à la température primitive, mais à une pression moindre, on faisait immédiatement une nouvelle expérience, dans laquelle la pression initiale était précisément la pression finale de l'expérience précédente.

« Ces observations répétées se succédaient avec assez de rapidité à des intervalles de temps égaux pour que, dans une même séance, avec des conditions identiques de pression atmosphérique et de température extérieure, on ait pu en exécuter dix en faisant varier la pression intérieure du réservoir de 2^{atmosph},994 à 1 atmosphère environ, et produire des abaissements successifs de température qui, ajoutés ensemble, donnaient un abaissement total de 102°,13, auquel correspondait le développement de 220 calories ou unités de chaleur. Quant au travail de détente de l'air pendant ces séries d'observations, il s'est élevé à 98,000 kilogrammètres.

« Mais si, après chaque expérience, la température intérieure du réservoir revenait à celle de l'air extérieur par suite de la conductibilité des parois, il était évident que, pendant la durée de chaque période d'écoulement, si courte qu'elle ait été, cette paroi devait restituer à l'air intérieur une portion de la chaleur transformée en travail pour produire la détente du gaz. Il était

donc indispensable de tenir compte de cette restitution et d'en connaître la loi.

« C'est ce que le mode d'expérimentation adopté permettait de faire, puisque chaque période d'écoulement était suivie d'une période de réchauffement assez longue pendant laquelle l'équilibre de température se rétablissait et dont la loi géométrique était donnée par une courbe tracée par l'appareil lui-même.

« Pour procéder avec plus de sûreté et se baser sur une loi plus générale, les auteurs ont fait des observations spéciales dans lesquelles ils ont prolongé la durée de l'écoulement et du refroidissement, en observant ensuite la marche du réchauffement, ce qui les a conduits à constater que la loi indiquée par Newton sur la proportionnalité de la chaleur transmise et de la différence des températures intérieure et extérieure était d'une exactitude suffisante, au moins dans les limites des données de leurs expériences.

« Cette vérification, intéressante au point de vue de la théorie de la chaleur, fait l'objet d'une note annexée à leur mémoire.

« C'est d'ailleurs pour rendre la correction à faire aux résultats immédiats de chacune des expériences partielles encore plus voisine de l'exactitude, que les auteurs ont limité la durée de chaque écoulement à quelques secondes, et ont eu soin de laisser chaque fois l'équilibre de température se rétablir, avant de procéder à une nouvelle observation.

« En réfléchissant à la marche générale des expériences, on voit que l'air contenu à l'origine de chacune d'elles peut être considéré comme partagé, par le fait de l'écoulement, en deux parties : l'une, la principale et de beaucoup la plus considérable, qui a éprouvé un refroidissement et une détente correspondant à l'expulsion de l'autre. Cette dernière, bien moindre, s'est détendue, s'est refroidie, à son passage dans l'atmosphère, suivant les lois dont on ne se préoccupe pas, les seuls effets qu'on étudie étant ceux qui se manifestent dans la première.

« Celle-ci, en se détendant, a certainement éprouvé des mouvements moléculaires, des résistances de la part des parois, mais tous ces mouvements ont eu si peu d'amplitude et de vitesse, par suite de la grandeur de la section du réservoir par rapport à celle de l'orifice, qu'on a cru pouvoir négliger ces pertes dans le mode de calcul employé.

« A l'aide des précautions et des corrections que nous venons d'indiquer, les auteurs sont parvenus à déduire de leurs expériences, pour la valeur de la quantité de travail équivalente à chaque unité de chaleur dépensée, le nombre 433.

« Il n'est pas inutile peut-être de remarquer que, si cette valeur est un peu supérieure à celle que M. Joule a déduite de ses expériences sur la chaleur développée par le frottement dans les liquides, cela pourrait peut-être être attribué à ce que ce savant physicien a dû, comme nos auteurs, faire abstraction du travail consommé par les résistances moléculaires pour les liquides, lequel est nécessairement bien supérieur à celui que consomme l'air atmosphérique.

« La partie mathématique du mémoire de MM. Tresca et Laboulaye repose sur l'hypothèse même de l'équivalence entre les quantités correspondantes de chaleur et de travail. L'expression qu'ils en déduisent pour la valeur de l'équivalent mécanique de la chaleur conduit dans chaque cas à des valeurs numériques très-peu différentes les unes des autres.

« La formule à laquelle ils sont conduits par leur hypothèse peut être ramenée à une autre formule connue que Poisson avait établie dans sa théorie de l'écoulement des gaz, à une époque bien antérieure à celle où la notion de l'équivalent mécanique de la chaleur commençait à s'introduire dans la science.

« Il est remarquable cependant que la recherche de la différence de valeur de la capacité des gaz pour la chaleur lorsqu'ils sont maintenus à pression constante avec un volume variable, et de leur capacité lorsque leur pression varie et que leur volume reste le même, il est remarquable, disons-nous, que cette question, qui contenait implicitement toute la théorie nouvelle de l'équivalent mécanique de la chaleur, ainsi que l'a montré depuis d'une manière si claire M. Masson dans son mémoire de 1858, n'ait pas conduit immédiatement des physiciens et des géomètres comme M. de Laplace et M. Poisson à cette théorie si importante au point de vue philosophique de la science. Aussi ne saurait-on vraiment trop admirer cette puissance d'investigation qui a permis à l'illustre géomètre de devancer ainsi les découvertes expérimentales, et qui fait aujourd'hui utiliser ses formules jusque dans la solution d'une question qu'il n'avait même pu entrevoir. Cette réflexion nous

ramène à notre point de départ, et nous montre avec une nouvelle évidence que les méthodes de la mécanique rationnelle conservent toute leur autorité, même lorsqu'on veut considérer les phénomènes au point de vue de la nouvelle théorie.

« En résumé, les procédés ingénieux d'expérimentation employés par les auteurs du mémoire que nous examinons, en présentant un nouvel exemple de l'utilité des tracés graphiques pour de semblables recherches, les ont conduits à des conclusions dont les principales sont :

« 1° Une vérification, entre des limites beaucoup plus étendues que celles qui avaient été atteintes jusqu'à ce jour, de la théorie de l'équivalent mécanique de la chaleur ;

« 2° Une vérification de la loi de Newton, relative à la transmission de la chaleur à travers des parois exposées de part et d'autre à des températures différentes ;

« 3° Une méthode directe et nouvelle d'établir la relation hyperbolique trouvée par Poisson entre la pression et le volume des gaz, en tenant compte de la différence des capacités pour la chaleur.

« Non contents de ces premières recherches déjà fort remarquables, les auteurs se proposent de les continuer en les étendant et en leur donnant un nouveau degré de précision. Mais leur travail actuel, par l'originalité des moyens d'observation, par l'étendue des données, présente déjà, pour la théorie mécanique de la chaleur, une assez grande importance pour que nous proposions à l'Académie d'en ordonner l'insertion dans le *Recueil des Savants étrangers*.

« L'Académie ne saurait, en effet, trop encourager de semblables recherches, qui, en jetant la lumière certaine de l'expérience sur les phénomènes qui lient les transformations réciproques du travail et de la chaleur, manifestent de plus en plus cette grande loi de la nature, que rien dans les œuvres de la création ne se perd ni ne se détruit ; que le mouvement, le travail mécanique, la force vive, la chaleur, de même que la matière, ne disparaissent à nos faibles yeux, n'échappent à nos moyens de mesure que par suite de l'impossibilité où nous sommes de saisir ou de constater leurs transformations, mais qu'au contraire ils sont éternels comme leur éternel auteur. »

Les conclusions de ce rapport sont adoptées.

THÉORIE ET USAGE

DE

L'ODONTOGRAPHE DE ROBERT WILLIS

PAR M. A. LAUSSEDAT.

La théorie des engrenages, l'une des plus intéressantes de la géométrie appliquée, a été, depuis deux siècles environ, l'objet de nombreuses et savantes recherches, tant en France qu'à l'étranger. Le rôle important que cette sorte de mécanisme joue dans l'industrie et dans les arts de précision a attiré sur lui l'attention des géomètres et celle des plus habiles ingénieurs. Au nombre de ceux qui ont le plus contribué au perfectionnement de cette théorie, on peut citer la Hire, Hooke, Huygens, Camus, Euler, Young et White, jusqu'au commencement de ce siècle, et, plus récemment, Savary, Olivier, Tredgold, le général Poncelet et M. Bélanger.

Au point de vue purement spéculatif, on peut donc considérer le sujet sinon comme épuisé, du moins comme parfaitement élucidé. D'un autre côté, les règles pratiques dues à quelques-uns des auteurs que nous venons de nommer sont assez simples pour avoir pu devenir usuelles dans les bons ateliers.

Toutefois, comme elles exigent encore certaines constructions géométriques plus ou moins délicates, et partant toujours un peu longues, il arrive qu'on leur substitue souvent des procédés empiriques beaucoup plus expéditifs, mais défectueux. Ces procédés jugés suffisants, tant qu'il ne s'agissait que d'engins assez grossiers, comme les anciens moulins à eau et à vent, doivent être rejetés dans l'établissement des machines plus par-

faites de l'industrie moderne, qui, pour fonctionner régulièrement et économiquement, réclament les meilleurs procédés de construction dans toutes leurs parties.

L'objet de l'instrument que M. Willis a désigné sous le nom d'*odontographe* est de procurer, pour le tracé des dents d'engrenages, un moyen pratiquement aussi exact que les méthodes géométriques et aussi expéditif que les méthodes empiriques.

L'utilité d'un semblable instrument n'a pas besoin d'être justifiée. Ses avantages sont reconnus depuis plus de vingt-cinq ans dans les usines de l'Angleterre, où M. Willis a eu la satisfaction de le voir adopté, dès qu'il l'eut proposé.

Le fond de cette note est emprunté au remarquable ouvrage que M. Willis a publié sous le titre de *Principles of mechanism* (1). Nous avons seulement cherché à simplifier quelques-unes des démonstrations de l'auteur, en mettant à profit les théorèmes relatifs au centre instantané de rotation, que l'on doit à M. Chasles. Les différentes propositions nécessaires à l'intelligence du sujet, qui sont éparses dans plusieurs chapitres du livre de M. Willis, se trouvent ici rapprochées; le lecteur évitera donc ainsi l'espèce de travail, souvent assez pénible, auquel il faut se livrer pour dégager une question spéciale de principes généraux dont l'enchaînement se trouve nécessairement interrompu, dans les traités qui en embrassent les diverses applications (2).

Les tables numériques qui forment la partie, on peut dire essentielle, de l'instrument, n'ont eu à subir que de légers changements pour être rapportées au système métrique décimal. M. Tissot, répétiteur à l'École polytechnique, a bien voulu revoir les calculs, et je me fais un devoir de lui offrir ici mes remercîments.

1. In-8, Londres et Cambridge, 1841. Cet ouvrage, dont l'unique édition est épuisée, mériterait d'être traduit et publié en français.

2. Le tracé de M. Willis a été indiqué dans les ouvrages de cinématique récemment publiés en France, par MM. Laboulaye, Haton de la Goupillière et Bour. Ce dernier auteur a même accompagné l'excellent exposé qu'il a donné du principe de ce tracé de tables numériques analogues à celles que nous publions. Nous n'espérons pas moins qu'on nous saura gré d'avoir réuni dans un seul article, et sous la forme la plus élémentaire, tout ce qu'il faut, non-seulement pour saisir ce principe qui remonte à Euler, mais pour appliquer immédiatement le procédé de Willis, dans toute sa simplicité pratique.

Notions préliminaires. Un engrenage, en général, a pour objet de transmettre le mouvement de rotation d'un axe à un autre axe, par l'intermédiaire de *roues dentées*, de telle sorte que le rapport des vitesses de rotation des deux axes soit constant.

Les deux axes de rotation peuvent être parallèles, concourants ou même ne pas être situés dans le même plan; mais le premier cas est le seul qu'il soit nécessaire de considérer, quand il s'agit de la forme du profil des dents, les deux autres pouvant se ramener facilement à celui-là dans toutes les applications utiles.

Les roues et les dents qu'elles portent sont alors terminées par des surfaces cylindriques dont les génératrices sont ordinairement assez courtes. Pour étudier la manière d'agir d'une roue sur une autre, on peut même supposer nulle l'épaisseur de la roue, et considérer seulement ce qui se passe dans un plan perpendiculaire aux axes des deux roues.

Sur chacune des roues, les dents de forme symétrique, par rapport au rayon qui passe par le milieu de leur largeur, sont également espacées de milieu en milieu, et cet espacement se nomme le *pas* de l'engrenage. Elles sont d'ailleurs séparées par un intervalle que l'on désigne sous le nom de *vide*, tandis que la largeur de la dent se nomme le *plein*. La grandeur du pas, celles du vide et du plein s'évaluent sur une circonférence qui a son centre sur l'axe de rotation, et que l'on appelle le *cercle primitif* de la roue (1).

Comme l'indique son nom, c'est de ce cercle que l'on doit partir pour tracer les dents de la roue. Quand ces dents sont construites, le cercle primitif a en quelque sorte disparu, mais ce n'en est pas moins sur sa circonférence que l'on évalue le mouvement de la roue et on le désigne encore quelquefois, pour ce double motif, sous le nom de *cercle géométrique.*

Deux roues dentées qui agissent l'une sur l'autre doivent satisfaire à la condition que leurs vitesses de rotation restent dans un rapport déterminé et constant, que leurs mouvements d'ailleurs soient uniformes ou qu'ils soient variés.

Le rapport des vitesses étant donné ainsi que la distance des deux axes, les rayons des cercles primitifs se trouveront en divi-

1. Nous donnerons, en appendice, quelques indications relatives aux proportions des différentes parties d'une dent et à la division des cercles primitifs.

sant la distance des axes en deux parties, dont le rapport soit égal à l'inverse de celui des vitesses de rotation.

Sur la ligne qui joint les deux centres de rotation il existe deux points qui répondent à la question, l'un situé entre les deux centres et l'autre situé sur le prolongement de la ligne qui les unit.

Les cercles primitifs décrits de ces centres, avec des rayons ainsi déterminés, sont tangents extérieurement dans le premier cas, et tangents intérieurement dans le second. De là les *engrenages extérieurs* et les *engrenages intérieurs*. On voit immédiatement que les engrenages extérieurs changent le sens du mouvement de rotation d'un axe à l'autre, tandis que les engrenages intérieurs conservent le sens de la rotation.

Les engrenages extérieurs sont beaucoup plus fréquemment employés que les autres, et nous nous en occuperons plus spécialement. Mais il nous sera facile de montrer que les résultats auxquels nous parviendrons s'appliquent tout aussi bien au tracé des engrenages intérieurs.

En supposant les cercles primitifs dépourvus de dents, mais capables de rouler exactement l'un sur l'autre par le simple contact, on voit encore facilement, et pour ainsi dire sans démonstration, que les vitesses de rotation de ces cercles sont en raison inverse de leurs rayons, ce qui justifie la division de la ligne des centres en deux segments dans le rapport inverse des vitesses.

Prenons pour exemple deux circonférences dont l'une ait un rayon double de celui de l'autre : si, en tournant autour de leurs centres respectifs, ces deux circonférences roulent l'une sur l'autre sans glisser, les arcs qui auront traversé simultanément la ligne des centres seront égaux ; et, par conséquent, lorsque la plus petite aura fait un tour entier, la plus grande n'aura fait qu'un demi-tour, ou bien, à un tour entier de la grande correspondront deux tours de la petite.

La vitesse de rotation de la petite est donc double de celle de la grande, c'est-à-dire que le rapport de ces vitesses est l'inverse de celui des rayons des roues correspondantes.

On arriverait évidemment à la même conclusion, quel que fût le rapport des rayons.

Cela posé, le problème à résoudre consiste à munir les roues de courbes qui restent en contact pendant que les roues tournent

à la fois, et de telle sorte que leurs cercles primitifs roulent exactement l'un sur l'autre.

La géométrie fournit de cette question plusieurs solutions que nous n'avons pas à exposer ici.

Le but poursuivi et atteint par M. Willis a été de substituer aux courbes d'un tracé difficile ou tout au moins délicat, telles que les épicycloïdes et les développantes de cercle, de simples arcs de cercle. Mais ces arcs doivent avoir pour centres et pour rayons les centres et les rayons de courbure des portions de courbes auxquelles on les substitue. Il convient donc de faire connaître le principe général qui a conduit aux solutions rigoureuses, et qui doit également nous servir de guide pour parvenir à une approximation aussi satisfaisante que possible.

Principe général. O et O′ (fig. 4) étant les centres de rotation de deux cercles primitifs dont OI et O′I sont les rayons et I le point de contact, si deux courbes portées, l'une par le cercle de centre O et l'autre par le cercle de centre O′, se touchent pendant que les deux cercles roulent l'un sur l'autre, la normale commune à ces deux courbes, menée par leur point de contact *m*, passe par le point I où se touchent les cercles primitifs.

Pour établir ce principe, nous démontrerons successivement plusieurs propositions qui mettent en même temps sur la voie de la solution cherchée.

I. Une droite AB (fig. 1), qui s'est déplacée dans un plan pour prendre une seconde position A′B′, peut toujours être ramenée à la première par une rotation effectuée autour d'un point situé dans ce plan.

Pour le démontrer, joignons les points A, A′ et les points B, B′, et, sur les milieux des droites AA′ et BB′, élevons les perpendiculaires DD′, EE′ qui se rencontrent en C. Ce point C sera le centre autour duquel on peut faire tourner la droite A′B′ pour la ramener en AB. En effet, les triangles ABC et A′B′C ont évidemment leurs trois côtés égaux, et, par conséquent, si l'on fait tourner le triangle A′B′C autour du sommet commun C et dans le sens convenable, quand le point A′ arrivera en A, la coïncidence des deux triangles sera opérée, et la droite A′B′ aura repris sa première position AB.

II. Quand le déplacement de la droite est infiniment petit, le point C prend le nom de *centre instantané de rotation*. D'après cela, une droite qui change continuellement de position, dans un même plan, peut être considérée comme tournant successivement autour d'une série de centres instantanés qui forment une ligne continue dans ce plan.

Abaissons du point C sur les deux droites A B et A' B' les perpendiculaires CP, CP'; ces deux droites sont égales, et si l'on joignait le point d'intersection K de A B et de A' B' au point C, on formerait deux triangles rectangles égaux, c'est-à-dire que les points P et P' sont à égales distances de ce point K. On voit de même que AP = A' P' et, par conséquent, les points P et P' coïncident quand A' B' coïncide avec A B.

Il résulte de là que pour un déplacement très-petit de A B, tel que les deux points P et P' restent assez voisins pour qu'on puisse les considérer comme confondus en un seul, le point d'intersection des deux droites A B et A' B' se trouve en abaissant du centre instantané C une perpendiculaire sur l'une ou l'autre de ces deux droites qui sont aussi restées infiniment voisines. Cette première propriété du centre instantané mérite d'être remarquée; elle nous sera très-utile par la suite.

III. Lorsqu'une droite A B (fig. 2) est assujettie à s'appuyer par ses extrémités sur deux circonférences de cercle, son centre instantané de rotation se trouve à l'intersection C des rayons O A, O' B qui passent par les extrémités A et B de la droite.

L'élément A A' décrit par le point A étant, en effet, perpendiculaire au rayon A O, le centre instantané doit se trouver sur ce rayon ou sur son prolongement; et l'élément B B' étant de son côté perpendiculaire au rayon O' B, le centre instantané se trouve aussi sur la direction de ce rayon. Il est donc à l'intersection des deux rayons ou de leurs prolongements.

Corollaire. Le centre instantané pouvant toujours être facilement déterminé dans ce cas, le point où se croisent les deux positions A B et A' B' très-voisines d'une même droite AB s'obtiendra en abaissant du centre instantané C la perpendiculaire C P sur cette droite.

IV. En supposant les rayons O A et O' B articulés en A et en B

avec les extrémités de la droite AB, pendant que celle-ci continue à se mouvoir en s'appuyant sur les deux circonférences, on démontre que les vitesses angulaires (1) des points A et B sont inversement proportionnelles aux segments AI et IB déterminés par cette droite, prolongée au besoin, sur la ligne des centres OO'.

En effet, la ligne AB peut être considérée comme une transversale du triangle OO'C, et la théorie des triangles semblables conduit immédiatement à la relation bien connue :

$$AO \times CB \times O'I = CA \times BO' \times OI,$$

c'est-à-dire que le produit de trois des six segments non contigus formés par la transversale AB sur les côtés du triangle OO'C est égal au produit des trois autres, et l'on peut tirer de là :

$$\frac{CA \times O'B}{OA \times CB} = \frac{O'I}{OI}.$$

Mais, d'un autre côté, les petits arcs AA', BB' décrits par les extrémités de la droite AB peuvent être considérés comme appartenant à des circonférences qui auraient pour centre commun le centre instantané de rotation, et, par conséquent, la vitesse linéaire du point A est à la vitesse linéaire du point B dans le rapport des rayons CA et CB de ces circonférences.

Mais si l'on désigne par w la vitesse angulaire du point A autour du centre O, et par w' celle du point B autour du centre O', la vitesse linéaire du point A (le petit arc AA' étant supposé décrit dans un intervalle de temps très-court pris pour unité) sera égale à $w \times OA$, et celle du point B sera égale à $w' \times O'B$. On aura donc :

$$\frac{w \times OA}{w' \times O'B} = \frac{CA}{CB}, \text{ d'où } \frac{w}{w'} = \frac{CA \times O'B}{OA \times CB},$$

1. En général, pour évaluer la vitesse d'un corps qui tourne autour d'un axe, on prend, sur une perpendiculaire à cet axe, une longueur égale à l'unité. L'arc décrit par l'extrémité de cette longueur, dans l'unité de temps, est ce qu'on appelle *la vitesse angulaire de rotation* du corps. On conçoit, d'après cela, sans difficulté, ce qu'il faut entendre par la vitesse angulaire d'un point situé sur un rayon, c'est-à-dire sur une droite qui tourne autour d'une de ses extrémités comme centre.

et, à cause de la relation précédente, il viendra simplement :

$$\frac{w}{w'} = \frac{O'I}{OI},$$

ce qui démontre la proposition énoncée et le principe général lui-même, comme on le voit plus explicitement dans le paragraphe suivant.

V. Considérons les deux courbes (fig. 4) portées, l'une par le cercle primitif de rayon OI, et l'autre par le cercle de rayon O'I, et, par leur point de contact m, menons leur normale commune MN. Supposons que cette normale passe par le point I où se touchent les deux cercles primitifs, et soient A et B les centres de courbure, mA et mB les rayons de courbure des deux courbes à leur point de contact m. Si l'on substitue à chacune de ces courbes de petits arcs de leurs cercles osculateurs, quand ces arcs agiront l'un sur l'autre pour transmettre un mouvement de rotation, la distance AB égale à la somme des deux rayons de courbure sera constante. Pour un très-faible déplacement de cette droite AB, dont les extrémités décrivent des arcs de cercle autour des centres de rotation O et O', le rapport des vitesses angulaires de ces extrémités A et B, ou des cercles primitifs auxquels ces points se trouvent liés, sera égal au rapport inverse des segments OI et O'I, dans lesquels la normale MN divise la ligne des centres OO', c'est-à-dire au rapport inverse des rayons de ces cercles primitifs.

La solution rigoureuse du problème des engrenages consiste à prendre pour profils des dents, des courbes conjuguées telles que la normale commune, menée au point de contact variable de ces courbes, continue à passer par le point I.

Dans la solution approchée, où l'on substitue des arcs de cercle à ces courbes, on fait en sorte que la normale commune qui passe par leur point de contact s'écarte le moins possible de ce même point I, où se touchent les cercles primitifs.

VI. Nous avons vu précédemment que le point d'intersection de deux positions voisines d'une droite AB (fig. 2), qui se déplace dans un plan, est au pied P de la perpendiculaire abaissée du centre instantané de rotation C sur cette droite. Pour que ce

point d'intersection P reste voisin du point I où la droite AB rencontre la ligne des centres OO′, il faut donc évidemment, comme cela est indiqué sur la figure 3, que le centre instantané de rotation C soit situé sur la perpendiculaire élevée par le point I sur la droite AB.

Construction géométrique des centres des dents en arcs de cercle. L'angle sous lequel la normale commune MN (fig. 4) aux deux arcs en contact rencontre la ligne des centres OO′ est arbitraire; mais M. Willis est arrivé, après d'assez nombreux tâtonnements, à reconnaître que, pour donner aux dents la forme la plus convenable, cet angle devait être de 75° environ. Supposons donc l'angle MIO′ égal à 75°, et prenons sur MN un point quelconque m qui sera le point de contact des deux dents en arcs de cercle. Il s'agit de déterminer les centres A et B de ces deux arcs, de manière à satisfaire aux conditions indiquées ci-dessus.

A cet effet, élevons au point I la perpendiculaire IC sur MN, prenons sur cette perpendiculaire un point quelconque C, et joignons-le aux deux centres O et O′; les points A et B satisferont à la question, c'est-à-dire que si, de ces points comme centres, avec les rayons Am et Bm, nous décrivons deux arcs de cercle tangents en m, ces arcs de cercle pourront être pris pour profils des dents de la roue O et de la roue O′.

Puisque le point C est un point quelconque de la perpendiculaire élevée par le point I sur MN, il en résulte que le problème est indéterminé; et, en effet, si l'on prend d'autres points tels que C′, C″, on obtiendra de la même manière les centres d'arcs de cercle conjugués A′ et B′, A″ et B″. Dans le cas particulier où le point C′ se trouve sur la parallèle OC′ menée par le centre O à MN, le centre A′ s'en va à l'infini, ce qui signifie que l'arc de cercle correspondant se réduit à une ligne droite.

Lorsque le centre instantané C″ est encore plus près du point I, les deux centres des arcs de cercle A″ et B″ se trouvent du même côté de la ligne des centres des roues O et O′. Si, d'ailleurs, le point de contact m des arcs de cercle est pris de l'autre côté de la ligne des centres, ces deux arcs sont tangents intérieurement, et, tandis que le profil de l'une des dents est convexe, l'autre est concave. Tel est le cas représenté à part sur la fig. 5.

Il y a enfin un autre cas particulier qui donne lieu à la solution

la plus simple : c'est celui où le centre instantané est transporté à l'infini. Alors, en effet, on obtient immédiatement les centres des deux arcs de cercle conjugués Q et Q′ (fig. 4 et 5), en abaissant, des centres O et O′, les perpendiculaires OQ et O′Q′ sur la ligne MN.

Tracé des dents par un seul arc de cercle substitué à un arc de développante. Supposons le pas et la largeur des dents marqués sur les cercles primitifs, à partir du point I (fig. 5 et 6), et prenons ce point pour celui du contact des deux dents qui traversent la ligne des centres. En choisissant, pour tracer les dents par un seul arc de cercle, les centres Q et Q′ déterminés comme on vient de le dire, on remarquera tout d'abord que la position individuelle de chacun de ces centres est tout à fait indépendante du rayon du cercle primitif de la seconde roue.

Il résulte de là que toutes les roues dentées, de même pas, qui auront été construites en partant d'une même inclinaison i de la droite MN sur la ligne des centres, pourront marcher ensemble deux à deux. Cette propriété ne se retrouve, avec les solutions rigoureuses, que dans les *engrenages à développantes de cercle* (1) avec lesquels celui dont nous nous occupons a, du reste, la plus grande analogie. En désignant par r le rayon OI (fig. 6) et par i l'angle MIO, la distance du point I au centre Q, ou le rayon de l'arc de cercle qui forme le profil de la dent de la roue O, est $QI = r \cos i$.

En faisant $i = 75^\circ\, 30'$ d'où $\cos i = 0{,}25038$, ou à très-peu près 0,25, on voit que le rayon du profil de la dent est égal au quart de celui du cercle primitif de la roue.

Quel que fût d'ailleurs l'angle i, on obtiendrait le point Q en décrivant une circonférence sur OI comme diamètre ; ce point une fois déterminé, avec OQ pour rayon, on tracerait une circonférence concentrique au cercle primitif, et qui serait le lieu des centres de tous les arcs de cercle qu'il faudrait décrire avec le rayon QI, alternativement dans un sens et dans l'autre, pour former les deux côtés de chaque dent. n, n', q, s.... sont des centres situés sur la circonférence de rayon OQ, d'où l'on a tracé, avec les rayons mn, $m'n'$, pq, rs.... égaux à QI, les arcs de cercle qui sont les profils des dents de la roue O (fig. 6).

1. Voyez tous les traités de cinématique.

Emploi d'une fausse équerre. Quand on adopte l'angle de 75° 30′, le centre Q s'obtient très-aisément au moyen d'une fausse équerre DEFI (fig. 6) dont l'angle DIF = 75° 30′, et sur l'un des côtés de laquelle on a marqué, de I en D, des divisions de 2 centimètres 1/2 de longueur, subdivisées en dixièmes, c'est-à-dire de 2 millimètres 1/2 en 2 millimètres 1/2. En plaçant cette fausse équerre sur le cercle primitif, de manière que le côté non divisé passe par le centre et que le sommet coïncide avec l'un des points de division de ce cercle, le centre Q se trouve immédiatement en prenant sur l'échelle de la fausse équerre le rayon du cercle primitif que nous supposons exprimé en décimètres et centimètres. Ainsi, le rayon du cercle primitif étant de 24 centimètres ou de 2 décimètres et 4 centimètres, le point Q, centre du bord de la dent, qui passe par le point I (fig. 6), se trouve en 2,4 sur l'échelle.

Une fausse équerre en carton ou en métal, de 25 centimètres de côté, suffit pour tracer les dents des roues dont le rayon ne dépasse pas 1 mètre, c'est-à-dire pour tous les besoins ordinaires de la pratique.

Il est bon de remarquer que si, au lieu d'un arc de cercle, on faisait passer par le point I un arc de développante ayant pour base le cercle de rayon OQ, QI serait son rayon de courbure au point I. Or, dans les meilleurs ateliers où l'on construit les engrenages à développantes, on ne procède pas autrement, ou, pour mieux dire, on prend la peine de tracer un premier arc de développante dont on cherche le rayon de courbure moyen, à l'aide duquel on décrit ensuite toutes les dents, comme on l'a expliqué plus haut.

Engrenages à lanterne. Je rapprocherai immédiatement de la solution précédente, qui correspond aux engrenages à développantes de cercle, celle qui convient aux engrenages à lanterne, parce que le tracé des dents de la roue ordinaire, aussi bien que celui des *fuseaux* cylindriques de la lanterne, s'effectue avec un seul rayon, c'est-à-dire que le profil des dents de la roue est déterminé par un seul arc de cercle.

Les cercles primitifs des roues O et O′ (fig. 7) étant tracés, sur celui qui doit porter les fuseaux, et à partir du point I où ils se touchent, prenons l'arc I*a* égal à la moitié du pas et joignons ce

point *a* au centre O. Abaissons ensuite IA perpendiculaire sur O*a*, le point A, pied de la perpendiculaire, sera le centre d'un premier fuseau que l'on tracera avec un rayon convenable, c'est-à-dire égal à la demi-largeur de cette espèce de dent. Le point *m* où IA coupe la circonférence du fuseau est celui où la dent de la roue O′ doit toucher ce fuseau. Quant au centre du profil de cette dent, il sera au pied B de la perpendiculaire abaissée du centre O′ de la roue sur le prolongement de AI. Le pas étant porté sur le cercle primitif, le reste du tracé des dents s'effectuera, comme dans le cas précédent, avec une ouverture de compas constante égale à B*m*, l'une des pointes de compas devant toujours être posée sur la circonférence de rayon O′ B.

Nous ne parlons d'ailleurs ici ni de la troncature (l'échanfrinement) du sommet des dents ni de leur raccordement qui s'effectue dans ce cas au moyen d'une demi-circonférence, le vide devant prendre la forme des fuseaux qui viennent s'y loger successivement. Ces détails nous entraîneraient trop loin et sont en dehors du sujet spécial qui nous occupe.

On remarquera que dans la construction que nous avons indiquée, les centres des fuseaux se trouvant transportés sur un cercle concentrique au cercle primitif, le pas *ad* se réduit à AD. C'est donc ce nouvel arc qui doit servir de pas sur le cercle auxiliaire, quand on veut déterminer les centres des fuseaux.

M. Willis donne une solution un peu différente; il prend le point de contact *m* à une distance de la ligne des centres égale à la moitié du pas et laisse les centres des fuseaux sur le cercle primitif, puis il joint le centre du premier fuseau avec le point I, et il obtient le centre de courbure de la dent en abaissant la perpendiculaire, du centre O′ de la roue, sur la droite qui passe par le point I et par le centre du fuseau.

Dans les deux cas, la normale commune passe par le point I; mais, dans la construction de M. Willis, la condition relative à la position des centres des arcs de cercle qui forment les profils des dents par rapport au centre instantané de rotation ne se trouve pas satisfaite, tandis qu'elle l'est dans celle que nous avons adoptée. Il nous a semblé aussi que le fuseau devant être conduit par la dent, à partir de la ligne des centres et dans l'é-

tendue d'un arc égal au pas (1), la position moyenne du fuseau que nous avons choisie pour obtenir le rapport exact des vitesses à ce moment était celle qui convenait le mieux.

Toutefois, si dans certains cas particuliers la forme des dents de la roue qui résulterait de notre construction n'était pas satisfaisante, on pourrait, en laissant les centres des fuseaux sur le cercle primitif, revenir à celle de M. Willis.

Engrenages à flancs droits (2). Le cas des engrenages à flancs droits est encore un cas particulier facile à traiter. Il correspond à la position particulière C′ du centre instantané (fig. 4). Le centre A′ étant alors à l'infini, le profil de la dent du cercle O est une droite perpendiculaire à A′A′ ou à MN. En prenant donc le rayon pour cette droite, il faut que l'angle QOI soit égal à la moitié du pas, et cette condition détermine la direction de MN. Le centre B′ du profil de la dent de la roue O′ s'obtient ensuite, comme à l'ordinaire, en joignant le centre instantané C′ au centre O′ de la roue.

Tracé des dents par deux arcs de cercle. Dans les engrenages précédents où les profils des dents sont formés d'un arc de cercle unique, le rapport des vitesses angulaires n'est rigoureusement égal au rapport inverse des rayons des cercles primitifs que pour la position relative des dents pour laquelle a été faite la construction.

Ainsi, pour les dents de roues comme celles de la fig. 6, qui remplacent les dents à développantes, le rapport exact des vitesses n'a lieu que pour l'instant où le point de contact des dents passe par la ligne des centres. Avant et après ce passage, ou, comme on dit, sur l'*arc d'approche* et sur l'*arc de retraite*, ce rapport est altéré.

De même, dans l'engrenage à lanterne de la fig. 7, le rapport des vitesses a été exactement établi pour l'instant où le centre du fuseau a dépassé la ligne des centres d'un demi-pas. Pour toutes les autres positions, la normale commune au fuseau et à

1. Ceci résulte de considérations bien connues mais qui ne sont pas développées dans cet article.

2. Voyez la note de la page suivante.

la dent qui le conduit s'éloigne plus ou moins du point I, et le rapport des vitesses varie en conséquence.

En composant les profils des dents de deux arcs de cercle, on peut faire en sorte que le rapport des vitesses soit exact pour deux positions du point de contact pris de part et d'autre de la ligne des centres, et rendre par là très-faibles les écarts ou les variations de ce rapport.

Les deux cercles primitifs OFG et O'DE (fig. 8) étant décrits, à partir du point I où ils se touchent, portons sur l'un ou l'autre de ces cercles, de part et d'autre de la ligne des centres, les arcs I*m* et I*n* égaux à la moitié du pas de l'engrenage. Par le même point I, menons la droite MN faisant un angle de 75° avec la ligne des centres, et élevons-lui la perpendiculaire CC'. Enfin, prenons sur cette perpendiculaire les deux longueurs IC et IC' égales entre elles et plus petites que le plus petit des deux rayons des cercles primitifs, ou plus exactement, que la projection de ce rayon sur la perpendiculaire à MN.

En joignant le point C au point O et au point O', on déterminera sur la ligne MN deux centres A et B, dont le premier servira à décrire le flanc (1) concave de la dent de la roue O, et le second à décrire la face convexe de la dent de la roue O', tangente au point *m* à ce flanc. De même, en joignant le point C' aux centres O et O' des cercles primitifs, on détermine sur la ligne MN deux nouveaux points A' et B', dont la position par rapport au second point *n*, où l'on veut que le rapport des vitesses soit exact, permet de les prendre pour centres de deux nouveaux arcs de cercle qui agiront dans les mêmes conditions que les deux premiers. Ainsi, le centre A' servira à décrire la face convexe d'une dent de la roue O, et le centre B' à décrire le flanc concave de la dent correspondante de la roue O'.

Ces éléments obtenus, à savoir un flanc et une face pour les dents de chaque roue, après avoir divisé les cercles primitifs (2), en y marquant le plein et le vide de chaque dent, le reste du

1. Dans les roues dentées extérieurement, on désigne sous le nom de *flanc* la partie du profil d'une dent qui est située en dedans du cercle primitif, et sous celui de *face*, celle qui déborde ce cercle. On voit facilement que quand deux dents sont en prise, la face de l'une est en contact avec le flanc de l'autre.

2. Voyez l'appendice.

tracé de l'une ou de l'autre des deux roues est entièrement analogue à celui des roues des fig. 6 et 7.

Les centres des flancs et des faces des dents de la roue O seront sur les circonférences ax, $a'x'$ décrites du centre O avec OA et OA′ pour rayons, et, de même, les centres des faces et des flancs des dents de la roue O′ seront, sur les circonférences by, $b'y'$, décrites du centre O′ avec O′B et O′B′ pour rayons.

C'est ainsi que, des centres tels que p, avec un rayon pq égal à Am, on a décrit les flancs des dents de la roue O; que des centres k, k'.. avec les rayons kl, $k'l'$ égaux à A′n, on a décrit leurs faces; et de même, que des centres s, s'... avec les rayons sr, $s'r'$... égaux à B′n et des centres tt'... avec les rayons tu, $t'u'$... égaux à Bm, on a décrit les flancs et les faces des dents de la roue O′.

On remarquera encore ici que les positions des centres A et A′ des faces et des flancs des dents d'une roue O, sur la ligne MN, sont indépendantes de la grandeur du rayon de la seconde roue O′. On pourra donc, à la seule condition d'employer, pour déterminer les centres instantanés C et C′, une seule et même longueur pour toute une série de roues ayant même pas, faire marcher ensemble deux roues quelconques de cette série.

Toutefois, cette longueur constante IC devra toujours rester inférieure ou tout au plus devenir égale à la projection du plus petit des rayons des cercles primitifs correspondants. Si cette condition n'était pas observée, il en résulterait que deux centres conjugués tels que A et B se trouveraient situés de part et d'autre de la ligne des centres, et que les flancs des dents de l'une des roues devenant convexes, la forme de ces dents ne serait plus convenable.

Quand on voudra appliquer le tracé précédent à la construction d'une série déterminée de roues dentées de même pas et destinées à marcher ensemble deux à deux, on pourra donc prendre, pour la longueur de IC, celle du plus petit rayon des cercles primitifs. Il est clair d'ailleurs que les dents de la roue correspondant à ce plus petit rayon auront leurs flancs droits.

Cette solution approchée est tout à fait analogue, d'après cela, à celle des engrenages à *flancs épicycloïdaux* (1).

Il serait évidemment impossible d'imaginer des opérations

1. Voyez tous les traités de cinématique.

géométriques plus simples que celles-là. Cependant M. Willis n'en a pas moins cherché à rendre sa méthode encore plus pratique, en offrant aux constructeurs un instrument qui leur évite la peine de tracer d'autres lignes auxiliaires que les circonférences directrices ax, $a'x'$, by et $b'y'$ sur lesquelles il faut placer la pointe fixe du compas.

Description de l'odontographe. L'odontographe (fig. 10) consiste dans une fausse équerre GH dont les côtés forment un angle de 75°. L'un d'eux, prolongé dans les deux sens, est divisé en millimètres, à droite et à gauche du zéro placé au sommet de la fausse équerre. En appliquant le côté non divisé sur le rayon du cercle primitif dont on veut tracer les dents, et en faisant coïncider le sommet de l'équerre avec l'un des points de division de ce cercle, le côté divisé prend la direction de la *ligne d'action* (1) MN ou une direction symétrique par rapport à la ligne des centres des roues.

La fig. 10 montre l'instrument dans les deux positions successives où le zéro correspond aux divisions consécutives d et d' du cercle primitif; $d'm$ est la largeur du plein de la dent, et il s'agit de tracer la face mn' et le flanc mn de l'un des bords de cette dent.

Quand le zéro de l'odontographe coïncide avec la division d', le centre de la face est quelque part à droite du zéro, en a'; et quand le zéro coïncide avec d, le centre de la face est quelque part à gauche, en a par exemple. Si donc l'on connaît d'avance, pour les différents cas, la grandeur des rayons des faces et des flancs, ou plus simplement les distances des centres au zéro de l'instrument, l'opération se bornera à marquer, sur le dessin, les points a' et a, puis à décrire les circonférences directrices de rayons oa' et oa, qui servent à appuyer la pointe fixe du compas pendant que l'autre extrémité trace, soit le flanc, soit la face de chaque dent successivement.

Les distances des centres au zéro de l'odontographe, pour les flancs et les faces, ont été calculées par M. Willis et répondent

1. Cette direction de la ligne MN qui est celle de la normale commune aux surfaces des dents en prise, avant et après leur passage par la ligne des centres, est, en effet, celle suivant laquelle la dent de la roue qui conduit *agit* sur celle de la roue qui est conduite.

aux différentes séries de roues que l'on peut employer dans la pratique. Ces tables complètent l'instrument sur lequel elles sont inscrites ou gravées, comme cela a été fait sur la pl. 42.

Il nous reste actuellement à indiquer les formules qui ont servi à les calculer.

Formules pour déterminer la position des centres des flancs et des faces sur l'odontographe. Afin d'éviter la confusion des lignes, revenons au diagramme de la fig. 5. C étant un centre instantané de rotation tellement choisi que la distance CI soit inférieure au plus petit des deux rayons des cercles primitifs (1), A et B sont deux centres conjugués dont il s'agit de déterminer les distances $AI = d$ et $BI = d'$ au sommet de l'angle $MIO' = i$.

Posons $OI = r$, $O'I = r'$ et $CI = l$. Ces trois grandeurs sont données numériquement et l'angle i est fait invariablement de 75°.

Abaissons les perpendiculaires OQ et O′Q′, nous aurons par les deux triangles semblables AOQ et ACI,

$$CI = \frac{OQ \times AI}{AI + IQ}, \quad \text{ou bien} \quad l = \frac{r \sin i \times d}{d + r \cos i},$$

d'où

$$ld + lr \cos i = r \sin i \times d \qquad \text{et} \qquad d = \frac{lr \cos i}{r \sin i - l}.$$

On trouverait de même par les triangles semblables BO′Q′ et BCI,

$$d' = \frac{l\, r' \cos i}{l + r' \sin i}.$$

Supposons maintenant que, dans une même série de roues, l soit constant et égal à la projection du rayon r_1 du cercle primitif de la plus petite roue sur la perpendiculaire à MN, on aura alors $l = r_1 \sin i$, et les formules précédentes deviendront :

$$d = \frac{rr_1 \sin i \cos i}{(r - r_1) \sin i} = \frac{rr_1 \cos i}{r - r_1},$$

et en écrivant r au lieu de r'

$$d' = \frac{rr_1 \cos i}{r + r_1}.$$

1. Plus exactement à la projection de ce plus petit rayon sur la perpendiculaire à la ligne d'action.

Dans le cas de la crémaillère, où r devient infini,

$$d = d' = r_1 \cos i.$$

Ce sont ces formules qui ont été réduites en tables dans les conditions suivantes :

Pour un pas donné quelconque, on a admis que la plus petite roue de la série avait 12 dents, ce qui fixe, pour toutes les roues du même pas, la valeur de r_1 (1). Quand on construit la roue de 12 dents elle-même, quel que soit son pas, la distance d du centre du flanc au sommet de l'odontographe est infiniment grande, puisque $r = r_1$, c'est-à-dire que les flancs des dents de cette roue sont rectilignes. C'est pourquoi la roue de 12 dents qui figure dans la table intitulée *centres des faces*, ne figure pas dans celle qui est intitulée *centres des flancs*.

M. Willis a choisi ensuite des nombres de dents qui croissent d'abord lentement, puis de plus en plus, jusqu'à 150, après quoi il n'y a plus que la crémaillère que l'on peut comparer à une roue dont les dents sont en nombre infini.

Chaque colonne verticale de l'une ou de l'autre des deux tables représente donc les éléments des dents de roues d'une série complète. Les pas indiqués dans la première ligne horizontale de chaque table croissent depuis un centimètre, d'abord de demi-centimètre en demi-centimètre, puis de centimètre en centimètre, jusqu'au pas de 8 centimètres, que l'on atteint rarement dans la pratique.

Les nombres inscrits dans les colonnes verticales sont des millimètres, et leurs différences sont assez faibles pour que l'on puisse, par intercalation, y prendre à vue les distances des centres des faces et des flancs de telle roue que l'on voudra, pourvu que le nombre des dents de cette roue soit inférieur à 12.

Il est bon d'ajouter que les roues de dimensions plus petites ne sont employées qu'exceptionnellement dans la grande mécanique. D'un autre côté, il était inutile de descendre au-dessous du pas d'un centimètre, parce que la petitesse des dents entraîne comme conséquence une moins grande recherche de précision dans la forme du profil (2).

1. Voyez l'appendice.

2. Dans la construction des instruments de précision, et particulièrement dans

Engrenages intérieurs. La construction géométrique des centres et les tables de l'odontographe s'appliquent aussi facilement au tracé des roues dentées intérieurement qu'à celui des roues dentées extérieurement et des crémaillères. Il y a cependant lieu de faire remarquer l'inversion du sens de la courbure des flancs et des faces des dents intérieures. A cette inversion correspond celle des tables de l'instrument, c'est-à-dire que les distances des centres des flancs au zéro de l'échelle doivent être prises dans la table intitulée *centres des faces* et réciproquement (1).

Appliquons d'abord la construction géométrique à la détermination des centres des faces et des flancs des deux roues O et O' de la fig. 9. Supposons que la roue intérieure ait 12 dents, et élevons par le point de contact I des deux cercles primitifs, une perpendiculaire à MN ; il faudra, dans ce cas, prendre les deux distances égales IC et IC' telles que le point C' soit sur la parallèle BB' menée par le centre O' à la ligne MN. On aura ainsi les deux centres instantanés qu'il faut joindre successivement aux centres O et O' des deux roues pour déterminer sur MN les centres des arcs de cercle conjugués qui forment les flancs et les faces des dents. Le centre B' se trouve transporté à l'infini, parce que la roue O' a été supposée la plus petite de la série, mais le tracé de ces dents ne diffère pas autrement de celui qui convient à l'une quelconque des roues de la fig. 8. Il n'en est pas de même pour celles de la roue O, et l'on reconnaîtra aisément sur la fig. 9, que le plus grand des deux rayons A'*n*, qui est ordinairement celui du flanc, devient ici celui de la face de la dent intérieure et *vice versa*.

Cette substitution est d'ailleurs indiquée par les formules, quand on remarque que le rayon OI de la fig. 9 est porté, à partir du point I, en sens inverse de celui du même rayon, dans le cas de l'engrenage extérieur (fig. 5 et 8), pour lequel ces formules ont

celle des pièces d'horlogerie qui atteignent des dimensions assez grandes, on s'astreint à donner aux dents des roues des formes exactes. Quand la denture n'est pas obtenue par la fonte, on enlève les vides dans des disques pleins au moyen de *fraises* dont le profil peut encore aisément être déterminé au moyen de l'odontographe, en se conformant aux indications données dans l'appendice.

1. Toujours à l'inverse de ce qui existe dans les roues dentées extérieurement, les flancs sont intérieurs et les faces sont extérieures au cercle primitif.

été établies. Si l'on change, en effet, le signe de r dans les deux formules $d = \frac{rr_1 \cos i}{r - r_1}$ et $d' = \frac{rr_1 \cos i}{r + r_1}$,

elles deviennent $d = \frac{-rr_1 \cos i}{-r - r_1}$ et $d' = \frac{-rr_1 \cos i}{-r + r_1}$;

ou bien $d = \frac{rr_1 \cos i}{r + r_1}$ et $d' = \frac{rr_1 \cos i}{r - r_1}$;

d, qui est la distance du centre de la face et que l'on prend dans la table intitulée *centres des faces*, lorsqu'il s'agit de dents extérieures, doit donc être pris dans celle qui est intitulée *centres des flancs* quand on a à tracer des dents intérieures; de même d' doit être pris dans la table intitulée *centres des faces*.

Comparaison des dents construites à l'aide de l'odontographe avec celles que l'on trace empiriquement.

Le procédé empirique le plus répandu pour tracer les dents d'engrenage est le suivant :

Le cercle primitif de la roue étant divisé, et la largeur des dents marquée, on prend, toujours sur la circonférence, les milieux des vides pour centres des arcs de cercle qui servent à tracer les faces des dents. Les points C et C′ de la fig. 11 ont été ainsi déterminés et ont servi à décrire l'arc mp, du centre C′ avec le rayon C′m, et son symétrique, du centre C avec le même rayon. Quant au flanc mq de la dent dont l'arc mp est la face, il est rectiligne et dirigé sur le centre de la roue.

En employant l'odontographe pour tracer les faces et les flancs de la même dent qui appartient à une roue de 40 dents dont le pas est de 5 centimètres, on obtient le profil nmn' décrit des deux centres a et a', avec les rayons am et $a'm$.

Les deux procédés appliqués de nouveau à une dent qui appartient aussi à une roue de 40 dents, mais dont le pas est de 8 centimètres, ont donné les deux profils représentés par la fig. 12.

On peut remarquer, à l'avantage de la forme obtenue au moyen de l'odontographe : 1° que la dent, plus large à sa base (1), offre évidemment plus de résistance à la rupture; 2° que

1. Excepté dans le cas extrême de la roue de 12 dents.

les deux arcs de la face et du flanc se raccordent exactement sur le cercle primitif, tandis que la dent tracée empiriquement y présente toujours un jarret plus ou moins sensible; 3° enfin, et surtout, que la condition géométrique de l'égalité du rapport des vitesses y est très-approximativement satisfaite, ce qui n'a sûrement pas lieu pour l'autre espèce de dents.

Or, quand cette condition est négligée, il en résulte que l'engrenage marche irrégulièrement, en produisant un bruit assourdissant bien connu de tous ceux qui ont vu et entendu fonctionner des machines peu soignées. Ce bruit ou ce choc répété consomme naturellement beaucoup de travail en pure perte, et produit la destruction hâtive des mécanismes.

Ce sont précisément ces derniers et graves inconvénients que le tracé expéditif de M. Willis a pour objet d'éviter. Il ne nous semble pas douteux que tous les constructeurs qui voudront seulement prendre la peine d'en faire l'essai ne s'empressent d'adopter l'instrument aussi simple qu'ingénieux du savant mécanicien anglais.

APPENDICE.

DIVISION DES CIRCONFÉRENCES DES CERCLES PRIMITIFS.

La division du cercle primitif est la première opération à effectuer. Le procédé le plus simple consiste à porter sur la circonférence une ouverture de compas égale au *pas* de l'engrenage. On pourrait calculer ce pas d'après la grandeur du rayon ou du diamètre du cercle et le nombre des dents que doit avoir la roue; mais il vaut mieux prendre, *a priori*, un pas convenable et déterminer soit le rayon du cercle primitif, soit le nombre des dents correspondant.

Désignons par p ce pas et par d le diamètre du cercle primitif, p et d étant tous deux exprimés en centimètres; soit, de

plus, n le nombre des dents ou des divisions, et π le rapport de la circonférence au diamètre.

La longueur de la circonférence peut être exprimée par $n \times p$ ou par $\pi \times d$, et l'on a, par conséquent,

$$np = \pi d, \qquad \text{d'où} \qquad d = \frac{p}{\pi} \times n \qquad \text{et} \qquad n = \frac{\pi}{p} \times d.$$

Il est avantageux, on le conçoit, de choisir pour le pas un nombre limité de valeurs convenablement choisies. Voici celles qui sont le plus ordinairement en usage en Angleterre :

$$1^{po},\ 1^{po}\frac{1}{8},\ 1^{po}\ \frac{1}{4},\ 1^{po}\ \frac{1}{2},\ 2^{po},\ 2^{po}\ \frac{1}{2} \text{ et } 3^{po},$$

et il est rare que l'on ait besoin de recourir à des valeurs intermédiaires.

Au-dessous d'un pouce, les valeurs du pas qui paraissent suffisantes, dans la construction de *roues en fonte*, sont :

$$\frac{1^{po}}{4},\ \frac{3^{po}}{8},\ \frac{1^{po}}{2},\ \frac{5^{po}}{8} \text{ et } \frac{3^{po}}{4}.$$

Les dents de petites dimensions sont taillées dans des disques de métal, au moyen de machines. Dans ce dernier cas, il convient encore d'adopter une série définie de grandeurs pour le pas.

En France, il faut naturellement substituer les centimètres aux pouces et fractions du pouce. On trouvera dans la table suivante une série au moins aussi commode que la série anglaise.

L'avantage d'une semblable règle, que s'imposent généralement les constructeurs, consiste en ce que le nombre des modèles en bois pour la fonte et celui des plates-formes et des fraises qui servent à tailler les dents des petites roues est limité, et aussi en ce que les rapports des vitesses sont toujours faciles à déterminer.

Table des facteurs $\frac{\pi}{p}$ *et* $\frac{p}{\pi}$.

p pas en centimètres (1).	$\frac{\pi}{p}$.	$\frac{p}{\pi}$.
8	0,3927	2,5465
7	0,4488	2,2282
6	0,5236	1,9099
5	0,6283	1,5916
4	0,7854	1,2732
3,5	0,8976	1,1141
3	1,0472	0,9549
2,5	1,2565	0,7958
2	1,5708	0,6366
1,5	2,0944	0,4775
1	3,1416	0,3183
0,5	6,2832	0,1592

Cette table, qui renferme les deux facteurs inverses $\frac{\pi}{p}$ et $\frac{p}{\pi}$, sert à calculer facilement le nombre des dents, quand le diamètre est donné, ou, inversement, à calculer ce diamètre, quand on donne le nombre des dents, le pas étant, d'ailleurs, fixé dans les deux cas.

Exemple 1. — On demande quel sera le diamètre du cercle primitif d'une roue de 36 dents dont le pas doit avoir 5 centimètres.

La formule à employer est $d = \frac{p}{\pi} \times n$. Le facteur correspondant au pas, dans la colonne $\frac{p}{\pi}$, est 1,5916, qui, multiplié par 36, donne pour le diamètre cherché 57,297 en centimètres, $0^m,573$.

Exemple 2. — On demande combien il faudra donner de dents à une roue de $0^m,90$ de diamètre, le pas devant être de $3^c,5$.

1. La série indiquée dans cette colonne est celle que nous avons adoptée pour les tables de l'odontographe, les pas de $0^c,5$ et de $3^c,5$ exceptés.

On a alors $n = \frac{\pi}{p} \times d$; or, le facteur correspondant au pas dans la colonne $\frac{\pi}{p}$ est 0,8976 qui, multiplié par 0,90, donne 80,784, et l'on peut adopter le nombre de 80 dents, en augmentant le pas d'une quantité à peine sensible $\left(\frac{1}{3}\right.$ de millimètre$\left.\right)$.

M. Willis a fait connaître une autre méthode encore plus simple, qui est adoptée à Manchester (1), pour calculer les diamètres des cercles primitifs et le nombre des dents d'une roue.

Nous allons essayer d'appliquer cette méthode à notre système métrique, bien qu'il s'y prête peut-être moins facilement que le système des mesures anglaises.

On suppose le diamètre du cercle primitif divisé en autant de parties égales que la roue a de dents, et, au lieu du pas compté sur le cercle, on prend l'une de ces parties pour module, et on lui donne le nom de *pas diamétral*, pour le distinguer de l'autre.

Si l'on désigne ce pas diamétral par m, on aura $\frac{d}{n} = m$; n est nécessairement un nombre entier, et l'on peut convenir d'adopter pour m un nombre entier de millimètres.

En donnant à m les valeurs comprises entre 1 millimètre et 10 millimètres, nous obtiendrons une série un peu moins complète que celle de Manchester, mais qui concorde néanmoins encore assez bien avec elle, et à laquelle on pourrait d'ailleurs adjoindre quelques valeurs intermédiaires, comme nous l'indiquerons.

De l'expression $\pi d = np$, on tire $p = \pi \times \frac{d}{n} = \pi m$, et cette formule $p = \pi m$ a servi à calculer les valeurs du pas circulaire qui figurent dans la table suivante. Cette table permet de calculer avec une extrême facilité, soit les diamètres des roues, soit les nombre de dents.

1. Dans les ateliers de Sharp, Roberts et C[e].

PAS DIAMÉTRAL m en millimètres.	PAS CIRCULAIRE p en millimètres.	PAS CIRCULAIRE p approximativement.
10	31,42	31,5
9	28,47	28,5
8	25,13	25
7	21,99	22
6	18,85	19
5	15,71	15,5
4,5	14,13	14
4	12,56	12,5
3,5	10,99	11
3	9,42	9,5
2,5	7,85	8
2	6,28	6,5
1,5	4,71	4,5
1	3,14	3

Dans la série des pas adoptée à Manchester, le pas diamétral m est une fraction simple du pouce, comme $\frac{1^{po}}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$, etc. En posant $m = \frac{1}{m'}$, les nombres adoptés pour m' sont :

3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 16 et 20.

La table suivante en résulte.

m'	PAS CIRCULAIRE p en dixièmes de pouce.	p EN FRACTIONS de pouce à $\frac{1}{16}$ près.	p EN MILLIMÈTRES. (série anglaise.)	CONCORDANCE avec la série proposée.	
3	1,047	1 p°	31,93	31,42	28,27
4	0,785	$\frac{3}{4}$	23,94	25,13	21,99
5	0,628	$\frac{5}{8}$	19,15	18,85	
6	0,524	$\frac{1}{2}$	15,98	15,71	
7	0,449	$\frac{7}{16}$	13,69	14,13	
8	0,393	$\frac{3}{8}$	11,99	12,56	
9	0,349		10,64	10,99	
10	0,314	$\frac{5}{16}$	9,58	9,42	
12	0,262	$\frac{1}{4}$	7,99	7,85	
14	0,224		6,83	6,28	
16	0,196	$\frac{3}{16}$	5,97	—	
20	0,157	$\frac{1}{8}$	4,79	4,71	
			—	3,14	

C'est aux industriels qu'il appartient de juger des avantages qu'ils auraient à retirer de l'adoption d'une série de modèles basée sur ces indications.

Dimensions des parties principales d'un engrenage en fonction du pas circulaire.

Ce sujet a été également traité avec beaucoup de détails par M. Willis, mais nous ne pourrions pas l'aborder ici sans nous exposer à donner trop d'étendue à cet article. Nous nous bornerons donc à indiquer les proportions le plus ordinairement en usage, en renvoyant le lecteur soit à l'ouvrage de

M. Willis, soit à celui de M. Laboulaye, où sont reproduites les tables construites par l'auteur anglais.

p, étant le pas compté sur le cercle primitif,

La longueur de la dent en dehors de ce cercle. . . . $= \frac{3}{10}p.$

La longueur de la partie qui opère, flanc et face. . . $= \frac{6}{10}p.$

La longueur totale. . . . . $= \frac{7}{10}p.$

La largeur de la dent comptée sur le cercle primitif. $= \frac{5}{11}p.$

La largeur du vide. . . . . $= \frac{6}{11}p.$

On voit, d'après cela, que l'on donne $\frac{1}{10}$ du pas en profondeur, pour que les dents ne rencontrent pas le fond des vides, et $\frac{1}{11}$ du pas de plus au vide qu'au plein pour empêcher les arc-boutements des dents des deux roues.

TABLES DE L'ODONTOGRAPHE.

Nous donnons de nouveau ici les deux tables qui sont gravées sur la planche 42, pour le cas où l'on viendrait à détacher cette planche que l'on peut coller sur carton, pour en faire un instrument.

Table indiquant la position des centres des flancs sur l'échelle divisée en millimètres.

NOMBRE des DENTS.	PAS EN CENTIMÈTRES.									
	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	7	8
13	64	96	129	161	193	257	321	386	450	514
14	35	52	69	87	104	138	173	208	242	277
15	25	38	49	62	74	99	124	148	173	198
16	20	30	40	50	59	79	99	119	138	158
17	17	25	34	42	50	67	84	101	118	134
18	15	22	30	37	45	59	74	89	104	119
20	12	19	25	31	37	49	62	74	87	99
22	11	16	22	27	33	44	54	65	76	87
24	10	15	20	25	30	40	49	59	69	79
26	9	14	18	23	28	37	46	55	64	73
30	8	12	17	21	25	33	41	49	58	66
40	7	11	14	18	21	28	35	42	49	57
60	6	9	12	15	19	25	31	37	43	49
80	6	9	12	15	17	23	29	35	41	47
100	6	8	11	14	17	23	28	34	39	45
150	5	8	11	13	16	22	27	32	38	43
Crémaillère..	5	7	10	12	15	20	25	30	35	40

Table indiquant la position des centres des faces sur l'échelle divisée en millimètres.

NOMBRE des DENTS.	PAS EN CENTIMÈTRES.									
	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	7	8
12	2,5	3,5	5	6	7	10	12	15	17	20
15	2,5	4	5,5	7	7	11	14	17	19	22
20	3	4,5	6	7,5	8	12	15	18	22	25
30	3,5	5	7	9	10,5	14	18	21	25	28
40	4	5,5	7,5	9,5	11	15	19	23	27	30
60	4	6	8	10	12	16	21	25	29	33
80	4,5	6,5	8,5	11	13	17	22	26	30	34
100	4,5	6,5	9	11	13,5	18	22	27	31	35
150	4,5	7	9,5	11,5	14	18	23	28	32	37
Crémaillère..	5	7,5	10	12	15	20	25	30	35	40

Couteaux et fraises des machines à fendre les engrenages. — L'odontographe de M. Willis n'est pas seulement applicable au tracé des dents des grandes roues en fonte. On s'en servira éga-

lement avec avantage à la détermination des profils des couteaux et des fraises employées à fendre les disques pleins de moindres dimensions, en fonte, en fer, en cuivre ou en bronze.

Si l'on compare plusieurs roues ayant le même pas, on remarquera que les intervalles entre deux dents consécutives, c'est-à-dire les vides, varient peu de forme, tant que le nombre des dents est considérable, mais qu'ils diffèrent, au contraire, d'une manière de plus en plus sensible, à mesure que le nombre des dents diminue.

Sous le nom de *Table des valeurs équidistantes pour les couteaux*, M. Willis a donné une succession de nombres de dents de roues correspondant à des formes entre lesquelles les différences sont ou peuvent être considérées comme équivalentes. Voici cette table dont nous allons indiquer rapidement l'usage :

N°s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Nombre de dents.	Crémaillère.	300	150	100	76	60	50	43	38	34	30	27	25	23	21	20	19	17	16	×	15	14	13	×	12

Ce qui ressort immédiatement de l'examen de ces nombres, c'est qu'il existe, par exemple, autant de différence entre la forme du ciseau de la roue de 13 dents et la forme du ciseau de la roue de 14 dents qu'entre les formes des deux ciseaux pour la roue de 150 dents et pour la roue de 300 dents.

Quand on a à fendre une série de roues de même pas, selon la grandeur de ce pas, on peut se contenter d'un nombre de couteaux ou de fraises plus ou moins restreint, les différences devenant d'ailleurs de moins en moins sensibles en grandeur absolue, quand le pas diminue.

Si l'on juge, par exemple, qu'un couteau doive suffire, on en déterminera le profil sur le tracé de deux dents consécutives d'une roue de 25 dents, parce que cette roue correspond au n° 13 de la table, qui est moyen entre le n° 1 et le n° 25.

Si l'on veut employer deux couteaux, on construira ceux des roues de 50 et de 16 dents : le premier servira pour toutes les roues comprises entre la crémaillère (n° 1) et la roue de 25 dents

(n° 13), et le second pour les roues de 23 dents (n° 14), et de 12 dents (n° 25).

Enfin, s'il fallait employer jusqu'à cinq couteaux, on prendrait les nos 3, 8, 13, 18 et 23, c'est-à-dire les profils correspondant aux roues de 150, 43, 25, 17 et 13 dents.

Le n° 1 servirait pour les roues comprises entre la crémaillère et 76 dents.

Le n° 8.	76 et 34 —
Le n° 13.	30 et 21 —
Le n° 17.	20 et 16 —
Le n° 23.	15 et 12 —

NOTES

SUR L'IODURE DE POTASSIUM,

LES ACÉTATES, HYDRATE ET OXYDE DE PLOMB;

la diastase et les tissus ligneux.

PAR M. A. PAYEN.

Dans un mémoire inséré l'année dernière au 6e volume de ces *Annales*, pages 241 à 249, j'ai indiqué les précautions que j'avais prises pour préparer l'iodure de potassium pur, en vue de le comparer avec les produits commerciaux livrés sous ce nom. J'eus plusieurs fois à cette époque l'occasion de remarquer que les solutions de l'iodure de potassium, lorsqu'elles sont légèrement acides, éprouvent une décomposition partielle pendant l'évaporation, laissant libre une partie de l'iode qui aussitôt les colore en jaune. En signalant ce fait, j'ai recommandé d'agir sur des solutions parfaitement neutres et à l'abri du contact de l'air.

Afin de mettre en évidence la cause complexe de cette décomposition, plusieurs expériences ont été entreprises; j'en citerai aujourd'hui quelques-unes qui me semblent concluantes :

1° Dans une solution saturée à froid d'iodure de potassium pur, on ajouta 0,005 d'acide acétique; la moitié de cette solution, introduite dans un flacon rempli et clos, demeura exempte d'altération sensible à la vue; l'autre moitié, concentrée au contact de l'air, prit une teinte jaune orangé graduellement plus intense : elle contenait alors de l'acétate de potasse et de l'iodure de potassium, plus de l'iode libre.

2° Une solution aqueuse saturée d'iodure de potassium pur

reçut 0,005 d'acide azotique; la moitié du liquide fut introduite dans un tube entièrement rempli et clos; l'autre moitié ayant été mise dans un tube qui renfermait en outre de l'air aux 0,9 de sa capacité, les deux tubes clos furent maintenus durant cinq heures dans le même bain-marie à la température de 45 à 50 degrés. Bientôt la solution que contenait le tube rempli d'air aux 0,9 prit une teinte jaunâtre virant peu à peu au jaune orangé de plus en plus intense, accusant ainsi la présence de l'iode graduellement mis en liberté; tandis que dans l'autre tube, qui renfermait une partie de la même solution à l'abri du contact de l'air, le liquide demeuré incolore ne manifesta aucun signe d'altération.

3° Les mêmes expériences répétées en faisant usage d'acide oxalique en doses aussi faibles ou ne communiquant guère au liquide que le caractère d'acidité auquel on s'arrête dans les essais alcalimétriques, eurent de semblables résultats.

4° Toutes ces expériences reproduites à froid (de 15 à 20 degrés centésimaux) manifestèrent plus lentement les mêmes phénomènes; en effet, les mêmes doses des acides acétique, azotique, oxalique ayant été ajoutées à la solution aqueuse saturée d'iodure de potassium pur, chacun des liquides fut séparé en deux parts : l'une d'elles remplissant un flacon et se trouvant exempte du contact de l'air, l'autre étant versée dans un flacon dont elle occupait seulement 0,1 de la capacité totale, restant ainsi en contact avec neuf fois son volume d'air confiné. Au bout de douze à dix-huit heures, les solutions demeurées en contact avec l'air avaient acquis une teinte orangée qui devint graduellement plus intense, signalant la présence de l'iode libre, tandis que dans les flacons complétement remplis avec chacune des solutions et hermétiquement clos, ces solutions restèrent incolores pendant plus de huit jours.

On peut donner de ces remarquables phénomènes une élégante démonstration en faisant, il est vrai, intervenir les granules amylacés : 1 gramme de ceux-ci délayé dans 25 centimètres cubes de la solution saturée d'iodure de potassium pur, légèrement acidulée, produisit en quelques instants un magma qui rendit le liquide immobile dans un tube aux 0,9 rempli d'air; on vit bientôt, sous les influences multiples de l'oxygène, de l'acide, de l'iode et de la substance amylacée, celle-ci, en pré-

sence de l'iode devenu libre, se colorer en violet à la superficie, et la nuance se propager si lentement, à mesure que les réactions elles-mêmes pénétrèrent plus avant, qu'au bout de quatre mois le mélange au fond du tube demeure encore aujourd'hui incolore et translucide.

De ces faits on est en droit de conclure que les acides acétique, azotique, oxalique, et très-probablement beaucoup d'autres, à la dose de 0,005, et sans doute en doses très-variées, ne décomposent pas l'iodure de potassium pur en solution aqueuse saturée, lorsque le liquide est à l'abri du contact de l'air, au point de dégager l'iode même au bout de plusieurs jours; que les mêmes solutions, en présence de l'air atmosphérique, sous la double influence de l'oxygène tendant à oxyder le potassium et d'un acide qui exerce son affinité pour la potasse, l'iode en partie devient libre; qu'ainsi s'effectue la décomposition partielle de l'iodure de potassium pur à l'aide de doses minimes de divers acides, dans les circonstances précitées.

Si l'on représentait le composé salin dissous comme étant de l'iodhydrate de potasse, on pourrait admettre que l'acide ajouté en faible dose s'unit à la potasse et dégage de l'acide iodhydrique; celui-ci, en vertu de son instabilité en présence de l'oxygène de l'air, laisse former de l'eau, et l'iode devenu libre apparaît aussitôt. Dans la théorie qui considère le composé comme résultant de l'union du métal avec l'iode, la réaction s'explique par l'intervention de l'eau qui, cédant son oxygène au potassium et formant ainsi la potasse qui s'unit à l'acide, laisse au sein du liquide l'hydrogène se combiner avec l'iode formant dès lors l'acide iodhydrique tellement instable en présence de l'oxygène de l'air, qu'aussitôt en contact avec ce gaz, il se produit de l'eau, et que simultanément une proportion correspondante d'iode devient libre.

On pourrait s'étonner, en consultant les annales de la science, qu'il fût resté jusqu'à ce jour quelques notions importantes à acquérir relativement aux propriétés de l'iodure de potassium et aux changements que ce composé peut facilement subir, si l'on ne voyait combien il a fallu de soins attentifs pour déterminer les conditions variables de ces réactions délicates.

Depuis l'époque mémorable (1811) où Courtois, chimiste-manufacturier, découvrit l'iode et après que Gay-Lussac en eut

fait une étude classique, assignant à ce corps la plupart de ses propriétés distinctives et marquant sa place auprès du chlore (avant que le brome découvert par M. Balard vînt s'interposer entre eux), tous les chimistes ont eu l'occasion d'examiner et d'appliquer, pour une foule de travaux, l'iode ainsi que ses combinaisons. Cependant on ignorait encore plusieurs réactions intéressantes de l'iodure alcalin et du bromure de potassium, qu'un mémoire précédent et celui-ci ont eu pour but de faire connaître, et qui doivent désormais entrer dans l'histoire de ces précieux réactifs de la chimie pure et appliquée.

Ces faits nouveaux ont d'ailleurs un intérêt particulier en ce qu'ils dévoilent les causes d'opinions divergentes émises par plusieurs savants chimistes qui attribuaient ou refusaient aux acides très-affaiblis le pouvoir de décomposer à froid, soit instantanément, soit d'une manière lente, l'iodure de potassium, en produisant une coloration jaune : on voit clairement aujourd'hui que le premier cas se réalise toutes les fois que l'iodure, bien qu'il soit incolore, contient néanmoins de l'iode en excès, ce qui fréquemment arrive en présence du carbonate alcalin; le deuxième exemple se manifeste lorsque la solution d'iodure de potassium pur est à la fois en présence d'un acide, en dose même très-faible, et de l'air atmosphérique; tandis que si la solution acidulée d'iodure de potassium pur est à l'abri du contact de l'air ou de l'oxygène, l'iode n'étant pas mis en liberté, la coloration jaune n'apparaît pas.

Évidemment, dans ce dernier cas, il n'y a pas, sans air ou sans oxygène, décomposition de l'iodure de potassium au point de rendre l'iode libre et d'en manifester la présence par la coloration jaune que plusieurs auteurs ont considérée comme étant caractéristique de cette décomposition; mais il n'est pas toutefois absolument démontré, par l'absence seule de coloration, que les acides n'ont pu déterminer simultanément la formation d'un sel de potasse et de l'acide iodhydrique, tous les deux étant incolores.

La démonstration que nous avons donnée des causes déterminantes du dégagement de l'iode, toutes les fois que les iodures alcalins dissous se trouvent en contact simultanément avec l'air et un acide même très-faible, explique la présence de l'iode si généralement répandu dans l'air atmosphérique : fait important

signalé par les nombreuses observations de M. Chatin, longtemps contesté, mais enfin définitivement admis après des vérifications attentives dues aux chimistes les plus compétents.

M. Weltzien, en communiquant les résultats de ses recherches sur le péroxyde d'hydrogène et sur l'ozone, le 12 mars dernier, à l'Académie des sciences, vient d'annoncer, entre autres faits par lui observés, que lorsqu'on ajoute à une solution d'iodure de potassium du peroxyde d'hydrogène, il se forme de la potasse et il se sépare de l'iode, soit immédiatement, soit au bout de quelque temps, si les liqueurs sont très-étendues.

Comme on le voit, ces réactions offrent une certaine analogie avec celles que j'avais antérieurement constatées et qui se trouvent indiquées ci-dessus, ainsi que dans le mémoire inséré au numéro précédent des *Annales du Conservatoire impérial des arts et métiers*.

ACÉTATES ET HYDRATE D'OXYDE DE PLOMB TRIBASIQUES ET PROTOXYDE DE PLOMB ANHYDRE CRISTALLISÉS.

En 1843 (mémoires insérés au T. IX du *Recueil des savants étrangers*), j'ai signalé la formation de ces trois sortes de cristaux dans des solutions aqueuses sous l'influence de l'ammoniaque qui, réagissant sur les acétates monobasique ou tribasique, se substitue en partie ou en totalité à l'un ou à l'autre des deux oxydes métalliques.

Les dosages les plus favorables dans chaque cas, le mode d'opérer et les précautions à prendre n'ayant pas alors été suffisamment décrits, quelques expérimentateurs n'ont pas réussi à reproduire ces cristallisations, notamment les deux dernières.

En présentant aujourd'hui une description plus complète des procédés à suivre, vérifiés dans mon laboratoire, j'ai la certitude que tous les chimistes parviendront du premier coup à préparer directement ces composés cristallins.

Il faut se préoccuper d'abord de préparer une eau distillée assez pure : on y parvient sans grande difficulté en distillant

avec ménagement l'eau de rivière filtrée, et fractionnant les produits, de façon à réserver pour les expériences en question le second tiers seulement du volume distillé. Afin d'éliminer toute trace d'acide carbonique, il convient d'ailleurs de soumettre à l'ébullition pendant une demi-heure la quantité d'eau destinée à chacune de ces préparations; l'ammoniaque que l'on emploie doit être également pure et surtout exempte de carbonate.

Acétate de plomb tribasique. Voici comment on opèra pour obtenir en longs prismes soyeux ce composé considéré alors comme incristallisable ou cristallisable en lames opaques.

Dans 100 volumes d'eau bouillante (et préalablement bouillie pendant trente minutes), on verse 100 volumes d'une solution aqueuse d'acétate neutre de plomb saturée pour la température de + 30°, puis on ajoute dans le liquide total 100 volumes d'un mélange de 80 volumes d'eau à + 60° avec 20 volumes d'ammoniaque; le flacon étant immédiatement clos, des cristaux en prismes aiguillés se forment par le refroidissement; ils se réunissent d'abord sur les parois et ensuite au milieu du liquide, en groupes très-nombreux irradiés de centres communs et formant des aigrettes d'un aspect blanc satiné.

Ces cristaux égouttés, lavés à l'eau pure (bouillie et refroidie), constituent l'acétate tribasique de protoxyde de plomb $3\,PbO,\ C^4H^3O^3,\ HO$; il peut servir à préparer les cristaux d'hydrate de protoxyde de plomb tribasique et le protoxyde anhydre cristallisé, suivant le mode d'opérer que nous allons décrire.

Hydrate tribasique de protoxyde de plomb cristallisé en octaèdres. D'abord on prépare une solution aqueuse d'acétate tribasique de plomb saturée à la température de + 15°; dans 100 volumes de cette solution, on ajoute 50 volumes d'eau distillée (préalablement soumise à l'ébullition durant trente minutes et refroidie en vase clos); on y ajoute, en agitant, 20 volumes d'ammoniaque, que l'on a préalablement étendue de 30 volumes d'eau pure. Le liquide total formant 200 volumes est abandonné au repos dans le flacon bouché à l'émeri; la température du lieu étant maintenue entre + 20° et 25°, on voit apparaître au bout de quelques heures des cristaux octaëdriques formés sur les parois du vase,

et dont le volume, augmenté lentement, est d'autant plus fort d'ailleurs, que, suivant des circonstances accidentelles, ces cristaux sont moins nombreux.

En tout cas, leur puissance de réfraction est telle qu'ils brillent des vives couleurs du spectre aux lumières solaire et artificielle : ce sont des cristaux d'hydrate tribasique d'oxyde de plomb correspondants à l'acétate tribasique et représentés par la formule



$$3\,PbO, HO.$$

Protoxyde de plomb cristallisé anhydre. Pour obtenir ce protoxyde en cristaux anhydres on modifie les doses des mêmes agents et l'on opére à une température plus élevée.

Dans 100 volumes de la solution aqueuse d'acétate de plomb tribasique, saturée à la température de + 15° à 16°, on ajoute 50 volumes d'eau distillée que l'on vient de soumettre pendant une demi-heure à l'ébullition; on fait bouillir quelques instants le mélange, puis on l'introduit dans un flacon que l'on plonge dans un bain d'eau chauffée à + 100°; on verse dans la solution un mélange de 30 volumes d'ammoniaque étendus de 20 volumes d'eau (celle-ci préalablement chauffée à l'ébullition, puis refroidie à la température de + 80°); au bout d'une minute, on aperçoit au sein du liquide une sorte de pluie de lamelles cristallines rhomboïdales jaunâtres, qui se réunissent graduellement, par un de leurs angles aigus, sur les parois en groupes demi-sphéroïdaux, irradiées de centres communs.

C'est le protoxyde de plomb anhydre, sorte de litharge jaunâtre pure, en lamelles translucides et brillantes, formées au sein du liquide ammoniacal [1].

Pendant que la solution se refroidit, il se dépose sur les parois du vase quelques menus cristaux d'hydrate de protoxyde de plomb.

1. Cinq de ces lamelles superposées vues sous le microscope laissent passer la lumière et paraissent transparentes.

EXTRACTION DE LA DIASTASE. RÉSULTATS PRATIQUES OBTENUS DANS LES GRANDES DISTILLERIES. GRANULES AMYLACÉS DANS LES TISSUS LIGNEUX. COLORATION ROUGE DES FIBRES LIGNEUSES PAR L'ACIDE CHLORHYDRIQUE.

Dans un précédent mémoire[1] j'ai décrit les transformations expérimentales de la substance amylacée en dextrine, en glucose et en alcool sous les influences de l'eau en différentes doses, de température déterminée, et du mode d'opérer, ainsi que les résultats de ces transformations obtenus en employant, comme substances actives, soit la diastase ou le malt qui la contient, soit l'acide sulfurique, soit enfin l'acide chlorhydrique. J'ai indiqué les produits en alcool et cellulose fibreuse des bois traités par l'acide chlorhydrique et la fermentation. Je me propose aujourd'hui de compléter ces notions : 1° en signalant les précautions à prendre pour obtenir la diastase, douée d'un pouvoir énergique de dissolution et de saccharification ; 2° en exposant les résultats pratiques obtenus en grand dans les distilleries de France, d'Angleterre et de Belgique ; 3° en signalant quelques améliorations à introduire dans ces opérations manufacturières. J'y ajouterai des données nouvelles sur la composition immédiate et les propriétés des tissus ligneux dans diverses essences forestières et horticoles.

Extraction de la diastase. Quelques manipulateurs, habiles cependant, n'ont pu obtenir la diastase douée de toute l'énergie qu'on lui reconnaît; cela n'est pas étonnant, car le traitement des organismes qui renferment ce principe actif, facilement altérable, exige des soins très-attentifs : il ne sera donc pas inutile de rappeler ici les conditions à remplir pour le succès de cette opération délicate.

On doit, autant que possible, faire usage d'orge de la dernière récolte, d'une même variété, soumise à une germination régulière, éviter les causes du développement des *moisissures :* celles-ci ne manqueraient pas d'envahir les grains détériorés et privés de la faculté germinatrice. Lorsque la germination est parvenue au point convenable, c'est-à-dire dès que sur presque tous les

1. N° 8, avril 1862, page 601 à 635.

grains la gemmule régulièrement allongée sous le péricarpe est parvenue à une longueur qui égale celle du fruit, il faut se hâter d'effectuer rapidement la dessiccation, à l'aide d'un courant d'air dont la température ne dépásse 50° dans aucune de ses parties; lorsque les radicelles sont desséchées au point d'être toutes friables, on les élimine après avoir séparé les grains qui n'ont pas manifesté les signes de la germination. L'orge germée ainsi obtenue est réduite en poudre grossière, puis macérée pendant une ou deux heures dans environ deux fois son volume d'eau à la température de + 30° centésimaux; on doit alors extraire promptement du mélange la solution aqueuse limpide par la pression et la filtration au travers d'un filtre lavé et encore tout humide.

Le liquide obtenu est chauffé à une température d'environ 70° dans un bain-marie d'eau, dont la température est maintenue à 75° au plus. Dès que les substances *albumineuses* sont suffisamment coagulées, on filtre le liquide avec les mêmes soins que la première fois. La solution limpide est immédiatement soumise au traitement ci-après[1] : On y verse de l'alcool en agitant, afin d'éviter que ce réactif se trouve en excès successivement dans les parties où il tombe directement, car l'excès d'alcool pourrait amoindrir ou même paralyser l'énergie de la diastase. Par la même raison, il convient d'éviter de faire usage d'alcool anhydre. En tout cas, une seule précipitation peut suffire. La diastase précipitée est recueillie sur un filtre; on l'enlève encore humide pour l'étendre aussitôt sur une lame de verre ou de porcelaine et la dessécher rapidement à basse température, dans le vide ou par un courant d'air, enfin on la pulvérise.

Quant à la possibilité d'obtenir la diastase assez énergique pour fluidifier et transformer en dextrine et glucose deux mille fois son poids de fécule amylacée, ce fait que nous avions annoncé a été mis hors de doute par les commissaires de l'Académie des sciences, MM. Dumas et Robiquet; ils ont dosé eux-

1. C'est à l'aide d'un traitement analogue employé par les chimistes et les physiologistes depuis notre première publication que l'on est parvenu à extraire plusieurs principes doués de propriétés *diastasiques* spéciales, notamment la SYNAPTASE, la GASTERASE ou PEPSINE et la PECTASE (si ce n'est que cette dernière peut agir après avoir été rendue insoluble par la précipitation, au moyen de l'alcool, d'après les expériences de M. Frémy).

mêmes alors les deux substances, et pesé très-exactement 1 centigramme de diastase pulvérulente et 20 grammes de fécule qui furent délayés dans 200 centigrammes d'eau, puis chauffés au bain-marie en agitant sans cesse, jusqu'à la température de 70° centésimaux. La dissolution s'effectua complétement, sans qu'il y eût un seul instant formation d'empois; au bout de trois heures, une goutte du liquide ne donnait plus la moindre coloration violette ni rougeâtre par l'iode. Une expérience comparative faite simultanément avec les mêmes doses de fécule et d'eau, en opérant dans les mêmes conditions, mais en substituant à la diastase 1 gramme d'une solution de gluten dans l'acide acétique[1], ne produisit autre chose que de l'empois très-consistant.

Il fut dès lors bien démontré que la diastase peut faire dissoudre et transformer en dextrine et glucose deux mille fois son poids de substance amylacée[2].

Sans doute ce n'est pas là encore la limite de son pouvoir, car on ne saurait admettre que ce principe actif eût été obtenu absolument pur et exempt de toute altération. D'ailleurs les conditions de l'expérience ci-dessus rappelée ne sont pas les plus favorables à la liquéfaction la plus prompte, ni à la saccharification la plus avancée; on parvient à de meilleurs résultats en opérant (comme nous l'avons dit p. 622 à 628 du mémoire inséré dans ces *Annales*, numéro d'avril 1862) avec plus d'eau et sur un empois refroidi à + 40°, conditions qui, elles-mêmes, ne sont pas encore sans doute les plus favorables possibles à la plus complète réaction de la diastase.

Résultats pratiques de la saccharification en grand par le malt et de la distillation des grains. Si les distillateurs de grains éprouvaient, comme on a pu le supposer d'après quelques expériences

1. Ce liquide avait été signalé par un expérimentateur, comme étant à peu près équivalent à la diastase de l'orge germée.

2. On lit dans le rapport de MM. Dumas et Robiquet (du 17 juin 1833), les passages suivants : « L'Académie nous ayant chargés, M. Robiquet et moi, de lui rendre compte du mémoire de MM. Payen et Persoz, nous avons soumis à un examen attentif les résultats scientifiques ou économiques qu'il renferme.... une partie de cette diastase suffit pour déterminer la rupture de deux mille parties, au moins, de fécule de pommes de terre, ainsi que vos commissaires s'en sont assurés. »

de laboratoire, une perte des deux tiers de la substance amylacée, voici quelles seraient les conséquences de ce fait : l'orge contient à l'état normal, d'après M. Boussingault, pour 100 parties amidon, plus dextrine 63,7. On n'utiliserait à la production de la glucose et de l'alcool que le tiers, ou 21,23, dont il faudrait encore déduire au moins 0,06 inévitablement appliqués à la formation des produits accessoires (glycérine, acide succinique, excès d'acide carbonique, cellulose et autres substances fixées sur la levure), d'après M. Pasteur, outre l'alcool amylique, dont la production paraît également constante, ce qui réduirait à 21 — 1,27 ou 19,9, au plus, la portion utilisée pour produire l'alcool. D'autres pertes inévitables : les quantités de substance amylacée, de glucose et de dextrine restées dans la drêche et les vinasses, les acides acétique et lactique engendrés pendant la fermentation, la vapeur alcoolique échappée dans les transvasements, et par les joints des appareils, amoindriraient encore le produit net de 0,05 à 0,10.

Si nous appliquions le même calcul au seigle qui renferme, suivant M. Boussingault, pour 100 parties amidon, plus dextrine 67,5 (fait qui s'accorde avec les résultats obtenus par plusieurs autres expérimentateurs), nous trouverions que la quantité alcoolisable, toujours suivant la même hypothèse, correspondrait tout au plus à 21,15 p. 100 de grains employés; encore devrions-nous déduire, dans les deux cas, la quantité de dextrine normale (si on la considérait comme inerte pour la saccharification et la production de l'alcool). Or, sans même effectuer cette déduction, nous trouvons, en nous basant sur les formules admises :

$$C^{12}H^{10}O^{10}, \text{ amidon et dextrine} = 2025,$$

et

$$C^{12}H^{12}O^{12}, \text{ glucose sèche} = 2250,$$

représentant

$$\text{alcool anhydre } C^{8}H^{12}O^{4} = 1150 + 4\,CO^{2} = 1100,$$

que les 19,96 (d'amidon + dextrine) dans 100 d'orge ou les 21,15 dans 100 de seigle équivaudraient en poids à 11,31 ou 11,99 d'alcool, outre l'acide carbonique. Voyons donc ce que l'on obtient d'alcool en réalité par la saccharification des grains au

moyen de la diastase, de la fermentation et de la distillation dans les grandes distilleries.

Nous emprunterons le premier exemple aux données numériques recueillies à Londres par M. Levat, ingénieur de l'École centrale, dans une usine où la fermentation des moûts soutirés occupe des cuves ayant chacune 180,000 lit. de capacité; la distillation s'y effectue à l'aide d'un appareil qui donne en vingt heures 45,400 lit. d'alcool à 58° centésimaux (*esprit London-proof*). Le rendement correspond à 28 lit. d'alcool à 100° centésimaux ou 22^k,25 (la densité de l'alcool étant à + 15° de 0,7947) pour 100 parties d'un mélange de malt 10, orge 80, et avoine 10[1]. Ce mélange contient au plus 63 d'amidon et dextrine. Ainsi donc, malgré les pertes inévitables dans le cours de ces vastes opérations et les quantités de matières dérivées de l'amidon engagées dans les résidus qu'on utilise pour nourrir les animaux, on recueille sensiblement le double de la proportion supposée maximum dans l'hypothèse d'une production fixe de 1 de glucose pour 2 de dextrine; encore ne tenons-nous pas compte des deux équivalents d'eau que la glucose renferme de plus que la fécule, ce qui eût réduit le rendement de 0,1 environ.

Nous allons voir que l'hypothèse précitée ne s'accorde pas mieux avec les résultats communément obtenus dans les distilleries belges. Voici, à cet égard, les documents que l'on trouve dans l'excellent *Traité de la fabrication des bières et de la distillation*, par M. Lacambre, ingénieur spécial pour ces importantes industries et ancien élève de l'École centrale (T. II, page 350, 2e édition, 1856) :

« Tandis que la plupart des distilleries agricoles n'obtenaient que 44 à 46 litres de genièvre à 50 centièmes par 100 kil. de grains[2], la majorité des grands distillateurs, qui n'avaient pas trop d'intérêt à hâter leurs opérations (en vue de récupérer les droits d'octroi), en retiraient communément 54 à 56 litres. »

Ce dernier produit équivalant à 28 litres d'alcool à 100° se

1. Voyez le *Traité complet de la distillation*, 1858, 3e édition, pages 295 à 299, et 4e édition, 1861, pages 330 à 342, chez Bouchard-Huzard.

2. Ce faible rendement représenterait encore moitié plus que le produit supposé maximum d'après la théorie d'un dédoublement dans le rapport de 2 de dextrine à 1 de glucose.

trouve, comme on le peut voir, égal à celui que M. Levat a constaté dans les distilleries anglaises.

Dans le même ouvrage, M. Lacambre, après avoir indiqué la marche générale adoptée en Hollande pour fabriquer la levûre (si estimée qui s'expédie en Belgique, en France et en Allemagne), conclut en disant, p. 861 : « Par ce procédé généralement usité en Hollande, on obtient ordinairement 52 à 54 litres de genièvre par 100 kil. de farine employée. » Ici encore il est facile de voir qu'au lieu de perdre les 2/3 de la substance amylacée contenue dans le grain moulu, on en utilise, au contraire, les 2/3, le surplus restant engagé en partie dans les résidus, et étant en partie représenté par les déperditions habituelles dont nous avons plus haut signalé les causes.

On lit enfin, p. 408 du même traité : « Au moyen des appareils macérateurs à double enveloppe (dans lesquels la saccharification par la diastase est plus avancée, et la fermentation plus complète), on peut obtenir jusqu'à 60 litres d'eau-de-vie à 49° par 100 kil. de grains de bonne qualité. »

Si l'on tenait compte des quantités d'amidon, de dextrine et de glucose engagées dans les résidus des grandes distilleries et qui concourent avec les matières azotées, grasses et salines, à rendre ces résidus nutritifs pour les animaux des fermes, on verrait que la substance amylacée, plus la portion de ses dérivés disparus après la fermentation, équivalent sensiblement aux quantités d'alcool produit : tel fut en effet le résultat pratique constaté par M. Dubrunfaut dans des préparations de malt, macérations et distillations bien dirigées : 40 kil. de seigle, plus 20 kil. de malt, ont produit 45 à 50 litres d'eau-de-vie à 19°, ce qui représente en moyenne, pour 100 de grains, 34 d'alcool pur. (*L'Art de la distillation*, par Dubrunfaut, 1824.)

En définitive, de même que les expériences de laboratoire convenablement conduites, les faits de la pratique en grand s'accordent à démontrer qu'en mettant en jeu l'énergie de la diastase et faisant en outre intervenir la fermentation alcoolique, on parvient sans peine à dépasser de beaucoup les limites que l'on avait cru pouvoir assigner à la saccharification directe, comme à la production de l'alcool; qu'ainsi les distillateurs de grains, loin de perdre pour cette production les 2/3 de la substance amylacée, utilisent plus des 2/3 de cette substance, et

pourraient, à l'aide des améliorations précitées, atteindre une limite plus élevée.

Nous avons dit, dans le mémoire inséré le 8 avril 1862, p. 601 à 635 de ces *Annales*, comment M. Bachet est parvenu à saccharifier, par l'acide chlorhydrique, la cellulose peu agrégée des bois, en réservant pour les pâtes à papier les parties fibreuses plus résistantes des tissus ligneux ; nous ajouterons ici l'indication, importante au point de vue théorique, des moyens d'extraire la cellulose pure du tissu médullaire des plantes phanérogames.

Cellulose pure extraite à froid des tissus médullaires. On peut extraire à froid la cellulose pure du tissu médullaire de différents végétaux, en débarrassant cet organisme du pectate de chaux et d'un autre composé calcaire qui agglutine et incruste ses cellules : il a suffi, par exemple, de tenir immergées, pendant huit à quinze jours, dans l'acide chlorhydrique étendu de 9 volumes d'eau, des tranches minces de la moelle d'un rameau de l'année, de *Phytolacca dioïca*, pour dissoudre la chaux ; des lavages à l'eau, puis avec l'ammoniaque étendue, ayant ensuite éliminé l'acide pectique, il n'est plus resté sous forme de cellules faciles à séparer que la cellulose presque pure, offrant alors ses caractères distinctifs. De semblables résultats furent obtenus en opérant de même sur la moelle d'*Aralia papyrifera*, qui constitue les feuillets légers connus sous les dénominations impropres de *papier de Chine* ou *de riz*.

Amidon sécrété dans les tissus ligneux des tiges, rameaux et racines de divers arbres et arbustes. J'ai constaté la présence des granules d'amidon dans les tissus ligneux d'un grand nombre d'arbres et d'arbustes, non-seulement dans leurs cellules, mais encore parfois jusque dans les cavités cylindroïdes des fibres ligneuses ; ces sécrétions amylacées se sont rencontrées en proportions variables, suivant les espèces ; persistantes en général, durant tout le cours des saisons, disparaissant quelquefois dans les premiers développements, lorsqu'ils sont très-rapides, des bourgeons, mais pour se reconstituer bientôt dans les premières portions du tissu ligneux formé, et longtemps avant la complète évolution annuelle de ces jeunes rameaux ; j'ai établi que l'abondance même de ces sécrétions signale la vitalité plus grande qui règne dans ces tissus.

Voici les espèces végétales dans lesquelles j'ai reconnu la sécrétion amylacée (qui persiste dans l'aubier des grands arbres, des chênes notamment, et dans leurs racines, diminue et disparaît dans le cœur plus fortement incrusté de sécrétions ligneuses), qui se rencontre d'ailleurs dans une foule d'arbres et d'arbrisseaux.

Vigne (corps ligneux, tiges, rameaux et racines de 1 à 12 ans), lierre (de 1 à 10 ans), buis (tiges, rameaux et feuilles), hêtre, chêne, érable, sycomore, frêne (*Fraxinus excessior* et *monophylla*[1], *Celtis australis*, *Populus angulata*, *Juglans regia*, *Acer platanoïdes*, *Morus alba*, *Negundo aceroïdes*, *Carpinus betulus*, *Ailantus glandulosa*, *Tuya gigantea*, *Mahonia*, *Robinia pseudo-acacia* (tige et racine), *Acacia julibrissin*, *Tamarix gallica*, *indica* et *parviflora*[2], *Melia azedarah*, olivier, figuiers, poiriers, pommiers[3], pruniers, pêchers, cerisiers, néfliers, lilas.

Dans les espèces suivantes, les corps ligneux des tiges et rameaux ne renfermaient pas sensiblement d'amidon : *Paulownia imperialis*, *Phytolacca dioïca* (pousse annuelle de 3 mètres de long, envoyée par M. Martins, de Montpellier); *Rhus cotinus*, *Camellia* (dont les feuilles cependant renfermaient dans les cellules de leur parenchyme d'abondantes sécrétions de granules amylacés); *Pinus sylvestris*[4], *Cedrus atlanticus*, et plusieurs autres conifères.

A cette occasion, j'ai constaté pour la première fois le fait de

1. J'ai observé les sécrétions amylacées abondantes dans toute la masse des vingt-cinq couches ligneuses d'un frêne de cette dernière espèce âgé de 25 ans.

2. La présence des grains d'amidon, non-seulement dans les tissus cellulaires des tiges et rameaux ligneux d'un tamarix, mais même dans toute la cavité des fibres ligneuses, a été sur ma demande vérifiée par mon savant confrère, M. Decaisne. Le fait, hors de doute, montre qu'en cette circonstance les fibres ligneuses peuvent accomplir des fonctions analogues à celles des cellules. (Bulletin de la Société impériale et centrale d'agriculture, 1862, 63, 64 et 65.)

3. J'ai vérifié de nouveau le fait que j'avais annoncé en 1849 (méconnu depuis par un savant chimiste), de la présence des granules amylacés dans les jeunes fruits encore verts, de ces deux dernières espèces, et dans ceux du coignassier (*Cydonia communis*), t. XVII, page 23 du Bulletin des séances de la Société impériale et centrale d'agriculture de France.

4. Une tige d'un pin maritime de Bordeaux de onze ans contenait quelques rares granules d'amidon dans le tissu cellulaire d'une zone ligneuse moyenne, entre l'axe et la périphérie.

la coloration rouge-violacé plus ou moins rapide et intense du corps ligneux de tous les conifères que j'ai soumis au contact de l'acide chlorhydrique étendu de 9 volumes d'eau (*Bulletin des séances de la Société impériale et centrale d'agriculture de France*, 25 mars 1063).

Depuis lors (le 18 mai de la même année, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*), M. Vantieghem signalait le phénomène de la coloration rose des fibres corticales par le contact de l'acide chlorhydrique concentré ou étendu de son volume d'eau, et considérant que l'acide chlorhydrique ne colore pas les cellules, il proposait cet acide comme un réactif spécial, ayant reconnu que dans les Cycadées ce réactif est très-utile, car il met en évidence les fibres isolées, éparses, colorables en rose au milieu du tissu cellulaire demeurant incolore.

M. Arthur Gris, naturaliste du Muséum d'histoire naturelle de Paris, a tout récemment communiqué à l'Académie des sciences les résultats de ses observations sur les sécrétions amylacées dans les tissus ligneux, sécrétions inaperçues en France avant mes expériences.

Les résultats obtenus par ce savant botaniste micrographe viennent à l'appui de ceux auxquels j'avais été conduit, et y ajoutent plusieurs faits intéressants. Voici quelques-uns des résultats et les conclusions déduites de ses recherches :

Les sécrétions amylacées se sont rencontrées plus ou moins abondantes, suivant les saisons, dans les tissus ligneux du châtaignier, dont la végétation est si rapide et la longévité si grande; du virgilia, arbre remarquable par l'abondance du suc séveux qui s'écoule du tronc quand on le blesse au printemps; du mûrier, qui offre un vaste système de lacticifères gorgés de suc blanc laiteux; du houx aux feuilles persistantes et du berberis, ce charmant arbrisseau dont les rameaux renferment sous l'écorce un véritable *albumen* farineux; dans le bois, les fibres aussi bien que les cellules, les rayons médullaires du parenchyme ligneux sécrètent en abondance des granules amylacées. Quant aux autres arbres précités, ces granules se sont rencontrées seulement dans les cellules de la moelle, des rayons médullaires et du parenchyme ligneux. M. Arthur Gris, en rappelant la structure du bois de châtaignier. fait remarquer que ses rayons médullaires sont composés d'une seule rangée de cellules. De là vient la distinc-

tion facile que j'ai fait connaître entre le bois de chêne (avec lequel on l'a souvent confondu), dont les rayons médullaires épais sont très-visibles à l'œil nu, tandis que les rayons très-minces du bois de châtaignier ne sont pas directement visibles; la distinction est surtout très-facile en examinant une coupe perpendiculaire à l'axe des tiges ou des rameaux, ou la coupe transversale d'un bois de charpente.

M. Arthur Gris a constaté la présence des sécrétions amylacées dans le tissu cellulaire spécial, qui parfois occupe la cavité des gros vaisseaux du bois tissu dont le développement bien connu était considéré comme un produit anormal de l'âge et un obstacle à la circulation des liquides.

L'auteur regarde comme bien établies, dès ce moment, les quatre propositions ci-dessous.

1° Des substances nutritives occupent les tissus amylifères du tronc des arbres pendant la plus grande partie de l'année;

2° Le temps pendant lequel ces tissus en sont dépourvus est de fort peu de durée et se doit compter non par mois, mais par jours;

3° L'amidon sécrété en été (dans les tissus ligneux) semble immuable pendant la maturation des fruits;

4° Il n'y a que deux grands mouvements des matières nutritives à l'intérieur du tronc des arbres : la genèse de ces matières en été, leur résorption au printemps.

DE L'UTILITÉ

DE L'APPLICATION DE LA GÉOMÉTRIE

AUX CALCULS ALGÉBRIQUES

PAR M. LE GÉNÉRAL MORIN.

Au moment où l'attention publique et celle du gouvernement se préoccupent d'arriver, par diverses voies, à une organisation de l'enseignement technique à donner aux ouvriers et aux jeunes gens qui veulent se consacrer plus spécialement à l'exécution matérielle des travaux et des opérations de l'industrie, et de l'enseignement général nécessaire aux diverses catégories d'industriels et de commerçants, il nous paraît utile de faire connaître, sous un point de vue particulier, la marche suivie dans une partie de l'Allemagne pour ce genre d'enseignement.

L'on sait que, sous le nom d'écoles réelles, on donne une désignation commune à des établissements très-différents dans leur but et dans la direction de leurs études. En Prusse, les écoles réelles donnent un enseignement général plus littéraire que scientifique, où l'on s'occupe presque exclusivement des langues vivantes et des éléments des sciences, sans aucun but spécial d'application.

En Autriche, au contraire, les écoles réelles sont de véritables établissements d'enseignement technique d'un ordre modeste, où le dessin d'applications spéciales, la géométrie élémentaire et la géométrie descriptive, des notions de physique et de chimie occupent la plus grande partie du temps des élèves, et sont toujours dirigés en vue de la pratique technique.

Ce dernier type d'établissement est celui qui rentre natu-

rellement dans les attributions du ministère du commerce, qui a aujourd'hui en vue d'en développer et d'en favoriser l'organisation, en stimulant et en aidant les initiatives régionales, communales ou individuelles.

L'enquête ouverte à ce sujet par le ministère et les rapports qui en ont été la suite ont fait connaître l'organisation générale des écoles réelles techniques d'Autriche, dont on vient de parler; mais il est un point particulier de leur régime qu'il est bon de signaler à l'attention, parce que son adoption dans les établissements à créer pourrait avoir pour les progrès des études d'application une importance très-efficace.

Nous voulons parler des rapports annuels qui, à l'occasion de la distribution des récompenses, des examens et du classement des élèves, sont publiés par ces établissements. Dans ces rapports on trouve non-seulement un détail des programmes suivis pour l'enseignement, les résultats des examens, des données statistiques sur le nombre et la répartition des élèves; mais ils contiennent en outre toujours un travail émané de l'un des professeurs sur l'une des questions techniques qui se rattachent à l'enseignement.

Cet usage, qui est d'ailleurs commun à tous les instituts polytechniques et aux autres écoles réelles de toute l'Allemagne, entretient et favorise chez les professeurs le goût et l'habitude des recherches et des travaux particuliers. Il offre à des hommes de mérite un moyen naturel, facile et honorable de se faire connaître. Il a de plus cet avantage que la nécessité de ne présenter que des études relatives à la nature de l'enseignement dirige l'attention des auteurs vers les applications des sciences plutôt que vers les idées spéculatives.

Aussi doit-on s'attendre à voir et voit-on déjà les professeurs des nombreux établissemements d'enseignement de l'Allemagne cultiver avec des succès de plus en plus marqués cet ordre d'études, dont il serait aussi désirable de faciliter et de propager le développement en France.

Comme exemple des travaux de ce genre, nous croyons devoir reproduire ici une étude très-bien faite des ressources que la géométrie et les tracés graphiques présentent pour la résolution d'un certain nombre de questions dont l'analyse ne donne pas toujours, au moins d'une manière facile, des solutions pour les

applications. Il s'agit d'un mémoire sur la *représentation graphique des fonctions*, qui nous a été envoyé par M. Carl de Ott, professeur de géométrie descriptive à l'école réelle de Prague.

Dans ce mémoire l'auteur s'est proposé de montrer comment la représentation graphique des fonctions ou des équations à une seule variable indépendante permet d'obtenir les valeurs de ces fonctions ou les racines des équations avec une approximation très-suffisante pour les applications techniques. Passant ensuite aux fonctions de deux variables indépendantes, il fait voir qu'elles peuvent être représentées par des surfaces dont l'étude conduit aux solutions cherchées. Il fait aussi l'application des mêmes principes à l'étude de la représentation des lois de physique mécanique, à la description des effets des machines, etc.

Ce genre de recherches n'est pas nouveau. Déjà, et depuis longtemps, les géomètres, les mécaniciens, les ingénieurs ont eu recours à des représentations graphiques et aux propriétés géométriques pour résoudre une foule de questions dont l'analyse ne fournissait pas de solutions. J'en ai moi-même donné bien des exemples dans mes publications sur la mécanique pratique, et quelque jour peut-être je pourrai chercher à en présenter un ensemble qui comprendrait une assez grande variété de cas différents pour former une sorte de cadre général comprenant un grand nombre d'applications en indiquant la marche générale à suivre.

Je montrerais, par des exemples nombreux, tout le parti que l'on peut en tirer aussi pour l'intégration géométrique des équations différentielles que l'analyse n'est pas parvenue à résoudre.

Mais, en attendant, il ne m'en a pas moins paru, dès à présent, utile de faire connaître dans les *Annales du Conservatoire* une partie du travail de M. le professeur Charles de Ott, parce qu'il est remarquable par les exemples qu'il a choisis, et par la clarté avec laquelle il a discuté les résultats de la représentation graphique des fonctions dont il s'est occupé.

A. M.

DE LA REPRÉSENTATION GRAPHIQUE

DES FONCTIONS ALGÉBRIQUES

PAR M. CARL DE OTT,

Professeur de géométrie descriptive à l'École supérieure réelle de Prague.

---

§ 1.

La représentation graphique d'une relation algébrique quelconque entre deux ou plusieurs quantités variables conduit en général à une ligne ou à une surface courbe, et présente de nombreux avantages pour les applications.

Elle procure le plus souvent à la simple vue une idée nette des rapports entre les quantités qui dépendent l'une de l'autre; par cette représentation, l'expression algébrique est, en quelque sorte, matérialisée, elle se manifeste à la vue, et nous fait connaître d'un seul coup d'œil toutes ses propriétés.

Il n'y a donc pas lieu de s'étonner que, de nos jours, on soumette à la représentation graphique, pour toutes sortes de recherches, les résultats obtenus par la comparaison des quantités dépendantes l'une de l'autre, et qu'on s'efforce même de rendre les lois de la nature appréciables à nos sens par des constructions géométriques.

L'idée de cette représentation graphique n'est pas moderne; presque tous les peuples civilisés de l'antiquité ont su résoudre des problèmes géométriques par la construction graphique.

Les Grecs surtout, qui recherchaient partout la clarté et la précision, se sont efforcés de ramener tout à la perception par les sens.

En ne considérant, en général, les quantités que comme se rapportant à l'espace, ils ont contribué au développement de la géo-

métrie. Déjà, du temps du philosophe Platon, il était question des équations du 1er et du 2e degré, et on savait les résoudre graphiquement. — Il serait intéressant de connaître la marche par laquelle les Grecs trouvèrent celles du 1er et du 2e degré ; mais les limites de cette note ne nous permettent pas de donner ici l'histoire du développement de cette géométrie de représentation, et nous nous occuperons seulement, dans ce qui suit, de la construction graphique des fonctions en général, en supposant connue, par les lecteurs qui étudient les sciences techniques et auxquels nous destinons cet exposé, la construction géométrique des équations du 1er et du 2e degré.

Établissons d'abord la notion des fonctions.

Si, en cherchant la relation de deux ou de plusieurs quantités, il se trouve que l'une d'elles varie dès que les autres changent de valeur, on dit que la première dépend des autres, et qu'elle est une fonction de celles-ci.

La loi suivant laquelle la quantité Z dépend des valeurs de x, de y, etc., est ordinairement exprimée par une équation de la forme $Z = ax^m + by^n + \ldots$, et Z est dit fonction de x, y.

Les quantités dont une fonction dépend sont ou constantes ou variables.

Les valeurs constantes sont celles qui, dans tout le calcul ou dans toute la discussion, conservent toujours la même grandeur, tandis que les valeurs variables peuvent, dans la même discussion, prendre un nombre infini de valeurs différentes, pourvu qu'elles soient conformes à la nature de la question.

Si l'on veut indiquer brièvement qu'une valeur Z dépend des valeurs x, y..., on renferme celles-ci dans une parenthèse en les séparant par les virgules, et on met devant la parenthèse l'une des lettres f, F, φ, Φ..., qui n'expriment pas des facteurs, mais qui sont des signes de fonctions désignant une opération algébrique quelconque entre les variables. Ainsi au lieu de

$$y = \sqrt{ax - bx^2}, \text{ ou de } z = ax + b \sin y,$$

on écrit plus brièvement

$$y = f(x), \text{ et } z = \varphi(x, y).$$

§ 2.

Si la valeur y dépend d'une seule variable, comme l'indique l'équation $y = f(x)$, nous pouvons, afin de nous rendre compte des valeurs successives de y, substituer pour la variable x les valeurs x_1, x_2, x_3....., et tirer de l'équation $y = f(x)$, par le calcul, les valeurs respectives y_1, y_2, y_3..... de y.

La construction graphique nous donne une idée bien plus nette de la variation de la fonction correspondante à l'augmentation ou à la diminution continue de la variable x.

Regardons les valeurs particulières x_1, x_2, x_3.... et y_1, y_2, y_3.... comme des parties de lignes droites, relatives à un système de coordonnées rectangulaires (fig. 1) dont XX′ est l'axe des abscisses, YY′ l'axe des ordonnées, et A l'origine des coordonnées; portons ensuite, d'après une même échelle, les valeurs de x sur l'axe XX′ en partant de A, les positives dans le sens AX, les négatives dans le sens AX′, élevons aux extrémités des abscisses x_1, x_2, x_3... des perpendiculaires, et portons-y les valeurs correspondantes de y, savoir : y_1, y_2, y_3..., en dirigeant au-dessus de l'axe XX′ les valeurs positives de y et au-dessous les valeurs négatives; nous aurons, dans le plan des axes de coordonnées, une suite de points qui, joints par un trait continu, détermineront une ligne droite ou courbe qui sera la représentation géométrique de $y = f(x)$, et nous montrera clairement, d'un seul coup d'œil, toutes les variations de la fonction.

Cette figure remplacera pour nous le tableau des valeurs correspondantes x_1 et y_1 de x_2 et y_2, etc., et nous fera connaître les propriétés et les relations les plus variées de la fonction.

§ 3.

C'est ainsi que nous avons construit, dans la fig. 1, la fonction

$$y = x^3 - 4x^2 - 4x + 16,$$

qui donne pour $x = 0 \qquad y = 16 = \text{A B},$

$x = 1 = \text{A 1} \qquad y = 9 = \text{1 C},$

$x = 2 = \text{A 2} \qquad y = 0,$

$x = 3 = \text{A 3} \qquad y = -5 = \text{3 D},$

$x = 4 = \text{A 4} \qquad y = 0,$

$x = -1 = A\,1' \quad y = 15 = 1'\,C',$
$x = -2 = A\,2' \quad y = 0,$
$x = -3 = A\,3' \quad y = -35 = 3'\,D'$, etc., etc.

En écrivant $y = x^3 - 4\,x^2 - 4\,x + 16 = 0$, nous avons une équation du 3e degré, dont les trois racines substituées pour x doivent réduire à 0 le polynome de l'équation.

Dans le cas présent, on a $y = 0$ pour $x = 2$, $x = 4$ et $x = -2$; ainsi les abscisses 2, 4 et -2 représentent les trois racines de l'équation $y = f(x) = 0$.

Or ces trois valeurs de x étant les abscisses des points d'intersection de la courbe correspondante à l'équation $y = f(x)$ avec l'axe des abscisses, il s'ensuit qu'une équation de la forme $y = f(x) = 0$ peut être résolue graphiquement. Si, de la manière indiquée, on trace la figure géométrique de l'équation $y = f(x) = 0$, les abscisses des points d'intersection de la courbe obtenue avec l'axe XX' représenteront les racines réelles de l'équation.

La solution géométrique d'une équation $y = f(x)$ démontre facilement une propriété générale des équations. Soient a et b, deux nombres qui, substitués à x dans le polynome de l'équation, donnent des résultats de signes opposés, il y aura entre a et b nécessairement au moins une racine réelle de l'équation $f(x) = 0$; car, soit par exemple, $y_1 = f(a) = +A$, et $y_2 = f(b) = -B$, les deux points de la courbe qui correspondent aux abscisses $x_1 = a$ et $x_2 = b$ se trouvant sur des côtés opposés de l'axe des abscisses, la courbe, en passant d'un point à l'autre, doit couper l'axe des abscisses au moins une fois; de plus, cela peut avoir lieu 3, 5..., et, en général, $2n + 1$ fois, et chaque point d'intersection répondra à une racine réelle de l'équation.

Si, au contraire, les ordonnées $y_1 = f(a)$ et $y_2 = f(b)$ ont des signes égaux, les points correspondants se trouvent du même côté de l'axe des abscisses, et la courbe, en allant d'un point à l'autre, ne coupera pas l'axe des abscisses, ou elle le coupera en 2, 4..., en général, en $2n$ points.

Une équation du 4e degré n'ayant que quatre racines, on ne peut trouver que quatre points d'intersection de la courbe $y = f(x)$ avec l'axe des abscisses, et si l'équation à résoudre

n'a pas toutes ses racines réelles, le nombre des points d'intersection ne peut être égal qu'à celui des racines réelles.

Dans la solution graphique des équations, on devra naturellement avoir égard à quelques propriétés générales des équations. Soit donnée l'équation :

$$y = f(x) = x^n \pm A_1 x^{n-1} \pm A_2 x^{n-2} \pm \ldots \pm A_n = 0.$$

On sait que le terme sans x, ici A_n, est le produit de toutes les racines prises avec un signe contraire, et qu'il ne peut y avoir tout au plus autant de racines positives qu'il y a de changements de signes et de racines négatives ou qu'autant que de suites de signes, en entendant par l'expression suite de signes l'égalité et par celle de changement de signe la différence des signes de deux termes immédiatement consécutifs. L'exemple

$$y = x^3 - 4x^2 - 4x + 16 = 0$$

a deux changements $(+\,-)$ et une suite de signes $(-\,-)$, ainsi il y a deux racines positives et une négative.

Si le terme sans x a beaucoup de diviseurs, on peut éliminer d'avance les facteurs qui ne peuvent pas être des racines. La marche la plus simple est celle-ci : on substitue dans l'équation $f(x) = 0$, d'abord $x = 1$, puis $x = -1$. Si $f(+1) = R$, et $f(-1) = R_1$, de tous les facteurs de A_n, ceux-là seuls peuvent être des racines qui, augmentés de 1, sont contenus en R_1 sans reste, et ceux qui, diminués de 1, sont renfermés dans R. Si l'équation $f(x) = 0$ a des racines positives et négatives, il doit être entendu qu'on prendra les facteurs de A positifs et négatifs.

Construisons ainsi graphiquement l'équation :

$$y = f(x) = x^4 - 8x^3 - 9x^2 + 102x + 90 = 0 \quad \text{(fig. 2)}.$$

Il y a deux changements et deux suites de signes, ainsi il y aura deux racines positives et deux négatives.

Afin de trouver les racines rationnelles formons

$$f(+1) = R = 176, \qquad \text{et} \qquad f(-1) = R_1 = -12.$$

Parmi les facteurs de $A_n = 90$, il n'y a que $+2$, $+3$, $+4$ et -3 qui aient la propriété ci-dessus exposée et qui puissent être des racines.

Il convient donc de les examiner séparément.

Pour $x = +2$, on a $y = +210$.
$x = +3$, $y = +180$.
$x = +5$, $y = 0$.
$x = -3$, $y = 0$.

Ainsi $+5$ et -3 sont les deux racines réelles de l'équation. Une troisième racine doit se trouver entre $+1$ et -1. Pour trouver le lien géométrique de la quatrième racine, mettons

$x = 6$, et nous trouvons $y = -54$,
$x = 7$ $y = +20$.

Les signes de y étant contraires, la quatrième racine sera entre $+6$ et $+7$.

La construction graphique, fig. 2, donne les valeurs approximatives des troisième et quatrième racines $x = -0{,}87$ et $x = +6{,}87$.

Pour l'exécution de la construction graphique, on a pour

$x = 0$, $y = +90 = AB$.
$x = +1$, $y = +176 = 1\,C$.
$x = +2$, $y = +210 = 2\,D$.
$x = +3$, $y = +180 = 3\,E$.
$x = +4$, $y = +98 = 4\,F$.
$x = +5$, $y = 0$.
$x = +6$, $y = -54 = 6\,G$.
$x = +7$, $y = +20 = 7\,H$.
$x = -1$, $y = -12 = 1\,J$.
$x = -2$, $y = -70 = 2\,R$.
$x = -3$, $y = 0$, etc.[1].

Pour obtenir des résultats suffisamment exacts, on se servira d'une échelle transversale aussi grande et aussi précise que possible pour la construction de la figure.

Si les coefficients du polynome ne sont que de petits nombres, les racines peuvent s'obtenir avec assez de précision par l'emploi d'une échelle aussi grande que possible. Par exemple, pour résoudre graphiquement l'équation

$$y = x^3 + 2\,x^2 - 5\,x - 3 = 0,$$

1. Pour limiter l'espace occupé par la figure, l'échelle des ordonnées a été prise égale à celle des abscisses. Il est évident qu'on peut les prendre différentes.

on trouve pour $x = 0$, $y = -3 = $ AB.
$x = 1$, $y = -5 = $ 1 C.
$x = 2$, $y = +3 = $ 2 D.
$x = 3$, $y = +27 = $ 3 E.
$x = -1$, $y = +3 = $ 1′ F.
$x = -2$, $y = +7 = $ 2′ G.
$x = -3$, $y = +3 = $ 3′ H.
$x = -4$, $y = -15 = $ 4′ J, etc.

La courbe qui correspond à ces coordonnées (fig. 3) coupe l'axe des abscisses dans les points a, b et c, et les abscisses de ces points d'intersection A$a = +1,78$, A$b = -0,52$, et A$c = -3,25$ sont les racines de l'équation donnée.

§ 4.

Après avoir montré comment on peut représenter graphiquement une fonction quelconque de la forme $y = f(x)$, passons à la construction graphique d'une fonction $z = f(x, y)$ de deux variables.

Cette construction dépend de trois quantités, x, y et z, ainsi elle ne peut plus être représentée dans un plan, mais seulement dans l'espace.

A cet effet, supposons (fig. 4) trois plans perpendiculaires entre eux XAY, XAZ et YAZ, qui se coupent selon des axes perpendiculaires entre eux AX, AY et AZ et à l'origine A des coordonnées. Portons maintenant, d'après une échelle quelconque, deux valeurs particulières de x et de y, par exemple $x = a =$ AP et $y = b =$ AQ, comme abscisses sur les axes AX et AY; traçons dans le plan XAY, PR ± AY et QR ± AX, donnant par leur intersection le point R.

En ce point élevons perpendiculairement au plan XAY la droite RM (que nous nommerons l'ordonnée), en prenant R M $= c$, valeur de z correspondante de celles de $x = a$ et $y = b$, tirée de $z = f(a, b)$: le point M sera un point de l'espace appartenant à la surface dont l'équation est $z = f(x, y)$.

En faisant varier les valeurs de x et y, et en déterminant les valeurs correspondantes de z, on obtient dans l'espace une

série de points formant une surface qui représente le lieu géométrique de la fonction $z = f(x, y)$.

Comme on peut aussi trouver des valeurs négatives de x, y, z, on portera les valeurs positives sur AX, AY et AZ, les négatives en sens contraire, sur AX′, AY′ et AZ′.

En donnant pour une même valeur $x = a$, à y des valeurs variables, on trouve, par les valeurs correspondantes de z, les ordonnées des points d'une courbe EMF qui se trouve sur la surface $z = f(x, y)$, et dont le plan est parallèle au plan de coordonnées YAZ. Par le même procédé, en posant

$$x = a_1 = AP',$$

on trouve une courbe E′F′, analogue à la courbe EMF.

De la même manière, en faisant varier x pour la même valeur $y = b = AQ$, les valeurs correspondantes de z sont les ordonnées d'une courbe GMH parallèle au plan de coordonnées XZ, et pour une seconde valeur $y = b_1$ on trouverait une courbe située d'une manière semblable sur la surface BCD.

Par conséquent, toute la surface courbe BCD peut être regardée comme la réunion continue de courbes parallèles aux plans des coordonnées, et en traçant un nombre suffisant de ces courbes on aurait la représentation graphique de la fontion $z = f(x, y)$.

§ 5.

Les fonctions de plus de deux variables ne peuvent plus être représentées graphiquement, puisque l'espace n'a que trois dimensions.

§ 6.

Après ces considérations générales sur la construction géométrique des fonctions, passons à la représentation graphique de quelques fonctions très-importantes et fréquemment employées en commençant par celles d'une seule variable.

Les fonctions algébriques les plus simples sont celles qui s'obtiennent par une seule opération algébrique faite sur la variable de la forme (1) $y = K \pm x$; (2) $y = Kx$; (3) $y = \frac{K}{x}$; 4) $y = x^n$.

§ 7.

Les lieux géométriques des fonctions (1) et (2) sont évidemment des lignes droites, provenant de l'équation générale de la droite $y = ax \pm b$, en posant, dans le 1er cas, $a = 1$, $b = K$, dans le 2e cas, $b = 0$, $K = a$.

On sait que a est la tangente géométrique de l'angle α que la droite fait avec l'axe des abscisses, et, dans le premier cas, on aura $a =$ tang. $\alpha = 1$, ainsi $\alpha = 45°$. La constante K exprime l'ordonnée du point d'intersection de la droite avec l'axe des ordonnées, et la construction graphique de la fonction $y = K + x$ donnera la droite L de la fig. 5. Comme pour le point C on a $y = 0$, l'équation $0 = K + x$ donne $x = - K = AC$.

Nous pouvons construire la fonction $y = K + x$ sans recourir à l'équation générale des droites, en prenant, comme précédemment, pour x des valeurs particulières, et en en tirant par l'équation $y = K + x$ les valeurs correspondantes de y. Nous trouvons pour

$$x = 0, \quad y = K = AB.$$
$$x = 1, \quad y = K + 1 = 1M.$$
$$x = 2, \quad y = K + 2 = 2N, \text{ etc.}$$

Les ordonnées croissant comme les abscisses correspondantes, il en résulte, pour lieu géométrique de la fonction $y = K + x$, la droite L.

De la même manière nous trouvons (fig. 5) pour $y = K - x$, la droite L_1; pour $y = - K + x$, et pour $y = - K - x$, les droites L_2 et L_3.

Comme de l'équation (2) il suit $y = 0$ pour $x = 0$, la droite L (fig. 6) passe par l'origine des coordonnées.

On a pour

$$x = 1, \quad y = K = 1M.$$
$$x = 2, \quad y = 2K = 2N.$$
$$x = 3, \quad y = 3K = 3O, \text{ etc.}$$

Si K est négatif, la fonction $y = - Kx$ est représentée par la droite L_1.

Pour $K = 1$ on a $y = x$, c'est-à-dire pour tous les points de la droite les abscisses sont égales aux ordonnées, et la repré-

sentation graphique de la fonction $y = x$ est une droite qui partage l'angle des coordonnées en deux parties égales.

§ 8.

Le lieu géométrique de la fonction $y = \frac{K}{x}$ (3) ne peut plus être une ligne droite, parce que la variation constante de x ne fait plus varier dans la même proportion les valeurs de y.

La représentation (fig. 7) de cette fonction s'obtient en tirant de l'équation (3)

pour $x = 0, \quad y = \infty.$

$x = \pm 1, \quad y = \pm K = 1\,m = 1'\,m'.$

$x = \pm 2, \quad y = \pm \frac{K}{2} = 2\,n = 2'\,n'.$

$x = \pm 3, \quad y = \pm \frac{K}{3} = 3\,p = 3'\,p'.$

$x = \pm 4, \quad y = \pm \frac{K}{4} = 4\,q = 4'\,q'$, etc.

et pour $x = \infty, \quad y = 0.$

$x = \pm \frac{1}{2}, \quad y = \pm 2\,K.$

$x = \pm \frac{1}{3}, \quad y = \pm 3\,K.$

$x = \pm \frac{1}{4}, \quad y = \pm 4\,K$, etc.

Nous voyons que la courbe s'approche indéfiniment des axes des coordonnées AX et AY, sans jamais les atteindre, en sorte que les axes des coordonnées sont des asymptotes de cette courbe.

Or, en prenant le centre de l'hyperbole pour origine des coordonnées et les asymptoses pour axes, l'équation de l'hyperbole est $xy = \left(\frac{e}{2}\right)^2$, en désignant par e l'excentricité; ainsi l'équation $y = \frac{K}{x}$, ou $xy = K$ représente une hyperbole pour

laquelle $\left(\frac{e}{2}\right)^2 = K$, $e = 2\sqrt{K}$. On sait d'ailleurs que les axes de l'hyperbole partagent en deux parties égales les angles des asymptotes, et on trouve facilement les axes X_1, X_1', Y_1, Y_1', les sommets B, B' et les foyers F, F', comme la figure l'indique.

§ 9.

Passons à la construction de la fonction $y = x^n$ (4).

Cette fonction étant d'une grande importance dans toute l'analyse, nous la soumettons à un examen détaillé. — Son caractère dépend d'abord de la nature de l'exposant n, pour lequel nous distinguons quatre cas.

1er *cas.* — Si n est un nombre entier et positif, il faut d'abord voir si n est un nombre pair ou impair.

α) Si n est pair, par exemple $n = 2$, nous avons $y = x^2$, et pour chaque valeur positive ou négative de x, nous trouvons une ordonnée positive, en sorte que la courbe correspondante s'étend, au-dessus de l'axe des abscisses, symétriquement des deux côtés de l'axe des ordonnées.

Nous avons (fig. 8) pour

$$x = 0, \qquad y = 0.$$
$$x = \pm 1, \qquad y = (\pm 1)^2 = +1.$$
$$x = \pm 2, \qquad y = (\pm 2)^2 = +4.$$
$$x = \pm 3, \qquad y = (\pm 3)^2 = +9.$$
$$x = \pm \frac{1}{2}, \qquad y = \left(\pm \frac{1}{2}\right)^2 = +\frac{1}{4}.$$
$$x = \pm \frac{1}{3}, \qquad y = \left(\pm \frac{1}{3}\right)^2 = +\frac{1}{9}, \text{ etc.}$$

Comme dans cette courbe les ordonnées sont dans le rapport des carrés des abscisses, elle est une parabole dont l'axe coïncide avec l'axe des ordonnées.

β). Si n est impair, par exemple $n = 3$, on a $y = x^3$, et (fig. 9) pour

$$x = 0, \qquad y = 0.$$
$$x = \pm 1, \qquad y = (\pm 1)^3 = \pm 1.$$
$$x = \pm 2, \qquad y = (\pm 2)^3 = \pm 8.$$
$$x = \pm 3, \qquad y = (\pm 3)^3 = \pm 27, \text{ etc.}$$

Ainsi à chaque valeur positive ou négative de x correspond une valeur également positive ou négative de y, et la courbe s'étend dans le premier et dans le troisième angle des axes de coordonnées.

2ᵉ *cas.* — Si n est positif, mais plus petit que 1, par exemple $n = \frac{1}{m}$, il faut encore distinguer si m est un nombre pair ou impair.

α) Soit m un nombre pair, par exemple $m = 2$, on tire de

$$y = x^{\frac{1}{2}} = \sqrt{x}, \text{pour } x = 0, \quad y = 0.$$

$$x = +1, \; y = \pm\sqrt{1} = \pm 1.$$
$$x = +2, \; y = \pm\sqrt{2} = \pm 1{,}41.$$
$$x = +3, \; y = \pm\sqrt{3} = \pm 1{,}73.$$
$$x = +4, \; y = \pm\sqrt{4} = \pm 2, \text{ etc.}$$

Pour chaque valeur négative de x, y est imaginaire. La courbe (fig. 10) ne peut donc s'étendre qu'à droite de l'axe des ordonnées, mais symétriquement des deux côtés de l'axe des abscisses.

β) Si m est impair, par exemple $m = 3$, nous tirons de

$$y = x^{\frac{1}{3}} = \sqrt[3]{x} \text{ pour } x = 0, \quad y = 0.$$

$$x = \pm 1, \quad y = \sqrt[3]{\pm 1} = \pm 1.$$
$$x = \pm 2, \quad y = \sqrt[3]{\pm 2} = \pm 1{,}26.$$
$$x = \pm 3, \quad y = \sqrt[3]{\pm 3} = \pm 1{,}44.$$
$$x = \pm 4, \quad y = \sqrt[3]{\pm 4} = \pm 1{,}59, \text{ etc.}$$

Les valeurs positives de x donnent des valeurs positives de y, les x négatifs des y négatifs, et la courbe (fig. 11) s'étend des deux côtés de l'axe des abscisses dans le premier et le troisième angle des axes.

γ) Pour $n = \frac{p}{q}$, mettons $y = x^{\frac{p}{q}} = \left(x^{\frac{1}{q}}\right)^p = z^p$, et nous pourrons construire cette fonction d'après le premier cas.

Soit, par exemple, $n = \frac{2}{3}$, $y = x^{\frac{2}{3}} = \left(\sqrt[3]{x}\right)^2$, les valeurs positives et négatives de x donnent toujours des valeurs positives de y, et la courbe doit être située au-dessus de l'axe des abscisses et symétrique à celui des ordonnées.

3e *cas*. — Si n est négatif, on a $y = x^{-n} = \frac{1}{x^n}$.

α) Soit n un nombre pair, par exemple 2, nous tirons de $y = \frac{1}{x^2}$,

pour	$x = 0$,	$y = \infty$,	pour	
	$x = \pm 1$,	$y = +1$,	$x = \pm \frac{1}{2}$,	$y = +4$.
	$x = \pm 2$,	$y = +\frac{1}{4}$,	$x = \pm \frac{1}{3}$,	$y = +9$.
	$x = \pm 3$,	$y = +\frac{1}{9}$,	$x = \pm \frac{1}{4}$,	$y = +16$.
	$x = \infty$	$y = 0$.		

La courbe a deux branches séparées dans le premier et le deuxième angle des axes des coordonnées, ces axes en étant d'ailleurs des asymptotes (fig. 1).

β) Si n est un nombre impair, par exemple $n = 3$, il résulte de $y = \frac{1}{x^3}$, pour

$x = 0$,	$y = \infty$		
$x = \pm 1$,	$y = \pm 1$,	$x = \pm \frac{1}{2}$,	$y = \pm 8$,
$x = \pm 2$,	$y = \pm \frac{1}{8}$,	$x = \pm \frac{1}{3}$,	$y = \pm 27$.
$x = \pm 3$,	$y = \pm \frac{1}{27}$,	$x = \pm \frac{1}{4}$,	$y = \pm 64$.
$x = \infty$,	$y = 0$		

La courbe (fig. 13) se trouve dans le premier et dans le troisième angle des axes, et ceux-ci en sont encore asymptotes. La courbe $y = \frac{K}{x}$ (fig. 7) est un cas particulier.

4me *cas*. — Soit n négatif et plus petit que 1, par exemple $n = -\frac{1}{m}$.

α) Si m est un nombre pair, par exemple 2, on a $x^{-\frac{1}{2}}$

$y = x^{-\frac{1}{2}} = \frac{1}{\sqrt{x}}$, d'où l'on tire

pour $x = 0, \quad y = \infty,$

$$x = +1, \quad y = \frac{1}{\pm\sqrt{1}} = \pm 1.$$

$$x = +2, \quad y = \frac{1}{\pm\sqrt{2}} = \pm 0{,}707.$$

$$x = +3, \quad y = \frac{1}{\pm\sqrt{3}} = \pm 0{,}577.$$

$$x = +4, \quad y = \frac{1}{\pm\sqrt{4}} = \pm 0{,}5.$$

$$x = \infty, \quad y = \frac{1}{\pm\sqrt{\infty}} = 0.$$

Si x est négatif, y devient imaginaire, ainsi la courbe a deux branches situées dans le premier et le quatrième angle des axes des coordonnées, et ces axes en sont asymptotes (fig. 14).

β) Soit enfin m un nombre impair, par exemple 3, l'équation $y = \frac{1}{\sqrt[3]{x}}$ donne pour

$$x = 0, \quad y = \infty.$$

$$x = \pm 1, \quad y = \frac{1}{\sqrt[3]{\pm 1}} = \pm 1.$$

$$x = \pm 2, \quad y = \frac{1}{\sqrt[3]{\pm 2}} = \pm 0{,}794.$$

$$x = \pm 3, \quad y = \frac{1}{\sqrt[3]{\pm 3}} = \pm 0{,}693.$$

$$x = \pm 4, \quad y = \frac{1}{\sqrt[3]{\pm 4}} = \pm 0{,}63.$$

$$x = \pm \infty \quad y = \frac{1}{\sqrt[3]{\pm \infty}} = 0.$$

Ces coordonnées produisent la courbe (fig. 15) dont la forme et la position, par rapport aux axes, ressemblent à la figure de la fonction $y = \frac{1}{x^3}$ (fig. 13).

Après avoir construit graphiquement la fonction $y = x^n$ pour différentes valeurs de x, ajoutons encore quelques réflexions générales.

La fonction $y = x^n$ donnant de suite $x = \sqrt[n]{y}$, il en résulte que les courbes des fonctions $y = x^2$, $y = x^3$, $y = x^4 \ldots$, $y = x^n$ ne se distinguent de celles des fonctions $y = \sqrt{x}$, $y = \sqrt[3]{x}$, $y = \sqrt[4]{x} \ldots$, $y = \sqrt[n]{x}$ que par leur position par rapport aux axes des coordonnées : par exemple la courbe de la fonction $y = x^2$ (fig. 8) s'étend des deux côtés de l'axe des ordonnées, tandis que celle de la fonction $y = \sqrt{x}$, pour la forme identique à la première, s'étend des deux côtés de l'axe des abscisses (fig. 10).

La même chose se dira des fonctions $y = x^3$ (fig. 9), et $y = \sqrt[3]{x}$, (fig. 11), etc.

Ainsi, si nous avons construit la courbe de la fonction $y = x^n$, l'ordonnée d'un point quelconque donne la neuvième puissance de l'abscisse correspondante, et réciproquement, l'abscisse d'un point quelconque nous fournit la racine neuvième de l'ordonnée de ce même point.

La même réflexion pouvant être faite sur les fonctions $y = \frac{1}{x^n}$ et $y = \frac{1}{\sqrt[n]{x}}$, nous en tirons la conclusion générale que le système des courbes de la fonction $y = x^{\pm n}$ ne diffère de celui de la fonction $y = x^{\pm \frac{1}{n}}$ que par la position par rapport aux axes des coordonnées.

§ 10.

La fonction $y = (1 \pm x)^n$, qui conduit à la série connue sous le nom de binôme, n'est ni moins importante, ni d'un emploi moins fréquent dans l'analyse, et fournit une figure intéressante par sa construction graphique.

Nous avons représenté dans les figures 16 à 23 les différentes espèces de courbes qu'on obtient en attribuant à l'exposant n toutes les valeurs possibles. Pour plus de clarté, les courbes de

la fonction $y = (1 + x)^n$ sont tirées en lignes pleines, celles de la fonction $y = (1 - x)^n$ en lignes ponctuées.

Pour $x = 0$ on a $y = 1$, c'est-à-dire que toutes les courbes de la fonction $y = (1 \pm x)^n$ passent par le point B situé sur l'axe des ordonnées et distant de l'origine des coordonnées A de l'unité de longueur.

Examinons quelques cas particuliers.

1. Si n est un nombre entier et positif, il faut distinguer entre n pair et n impair.

α) Soit n pair, y sera positif aussi bien pour les valeurs positives de x que pour les valeurs négatives ; ainsi la courbe se trouve dans les deux premiers angles des coordonnées au-dessus de l'axe des abscisses. Soit par exemple $n = 2$, l'équation $y = (1 + x)^2$ nous donne pour

$x = 0,\ y = 1,\qquad x = -1,\ y = 0.$
$x = 1,\ y = 4,\qquad x = -2,\ y = 1.$
$x = 2,\ y = 9,\qquad x = -3,\ y = 4.$
$x = 3,\ y = 16,\qquad x = -4,\ y = 9$, etc.

Ces coordonnées conduisent à la courbe K (fig. 16).

Pour la fonction $y = (1 - x)^2$ on aurait la courbe K'.

β) Si n est nombre impair, par exemple $= 3$, dans la fonction $y = (1 + x)^3$, y prendra toujours le signe de x, à l'exception des valeurs de x entre 0 et -1 ; la courbe K (fig. 17) qui correspond à la fonction $y = (1 + x)^3$, s'étend dans les trois premiers angles des coordonnées.

Pour $y = (1 - x)^3$, on a la courbe K'.

2. Si n change en $\frac{1}{m}$, on a

$y = (1 \pm x)^{\frac{1}{m}} = \sqrt[m]{1 \pm x}$, et il faut encore distinguer entre m pair et m impair.

α) Soit m pair, chaque valeur positive de x donne deux valeurs égales et opposées de y, et toute valeur négative de x qui serait plus grande que 1 rendrait y imaginaire.

Par exemple l'équation $y = \sqrt{1 + x}$ mène à la courbe K (fig. 18), l'équation $y = \sqrt{1 - x}$ à la courbe K'.

β) Si m est un nombre impair, par exemple $= 3$, l'équation

$y = \sqrt[3]{1 - x}$ sera représentée par la courbe K (fig. 19), l'équation $y = \sqrt[3]{1 - x}$ par la courbe K'.

3. Pour n négatif, on a $y = (1 \pm x)^{-n} = \frac{1}{(1 + x)}n$, et il en résulte des courbes de l'espèce de celles fig. 12 et 13, § 9.

α) Si n est un nombre pair, chaque valeur positive ou négative de x donne une valeur positive de y, ainsi les courbes se trouvent au-dessus de l'axe des abscisses. De plus on trouve pour : $x = \pm \infty$, $y = 0$, et dans l'équation $y = \frac{1}{(1 + x)^n}$ la substitution de $x = -1$, donne $y = \infty$, tandis que dans l'équation $y = \frac{1}{(1 + x)^n}$, on trouve $y = \infty$ pour $x = +1$, ainsi les deux courbes ont l'axe des abscisses pour asymptotes, et la première courbe K (fig. 20) correspondante à $y = \frac{1}{(1 + x)^n}$, a encore pour asymptote l'ordonnée passant par le point 1', la seconde courbe K', pour $y = \frac{1}{(1 - x)^n}$, celle passant par le point 1.

β) Soit n un nombre impair, par exemple 3, l'équation $y = \frac{1}{(1 + x)^3}$ donne des valeurs positives de y pour toutes les valeurs positives de x, de même que pour les valeurs négatives de x entre 0 et -1, tandis que les autres valeurs négatives de x donnent des valeurs négatives de y; de plus, pour $x = \pm \infty$, on a $y = 0$, et pour $x = -1$, $y = \infty$, ainsi il en résulte la courbe à deux branches K (fig. 21), ayant l'axe des abscisses et l'ordonnée passant par le point 1' comme asymptotes.

L'équation $y = \frac{1}{(1 - x)^3}$ donne la courbe K' qui ne se distingue de la courbe K que par sa position par rapport aux axes des coordonnées.

4. Si $n = -\frac{1}{m}$, et m un nombre pair, par exemple 2, l'équation devient $y = \frac{1}{\sqrt[m]{1 \pm x}}$, et l'équation à $m = 2$, $y = \frac{1}{\sqrt[m]{1 + x}}$

conduit à la courbe K (fig. 22), l'équation $y = \frac{1}{\sqrt{1-x}}$ à la courbe K', les deux courbes étant de la même espèce que celles tracées dans la figure 14. La courbe $y = \frac{1}{\sqrt{1+x}}$ a pour asymptotes le demi-axe AX et l'ordonnée passant par le point 1', la courbe $y = \frac{1}{\sqrt{1-x}}$, le demi-axe AX' et l'ordonnée passant par 1.

Si m est un nombre impair, par exemple 3, l'équation

$y = \frac{1}{\sqrt[3]{1+x}}$ produit la courbe K (fig. 23), l'équation

$y = \frac{1}{\sqrt[3]{1+x}}$ la courbe K'.

Un seul coup d'œil jeté sur cette figure montre la ressemblance avec la figure 15 provenant de la fonction $y = \frac{1}{\sqrt[3]{x}}$.

En général, les particularités par lesquelles les deux représentations graphiques de la fonction $y = x^n$ se distinguent de celles de la fonction $y = (1 \pm x)^n$, se montrent d'elles-mêmes et n'ont pas besoin d'être expliquées à part.

De même que la fonction $y = (1 \pm x)^n$, celle $y = (a \pm x)^n$ peut être construite graphiquement, et les courbes qui en résultent ne diffèrent de celles qui précèdent que par les distances des points d'intersection B et C des courbes avec les axes au point d'origine A, distances qui prendront des valeurs correspondantes à A.

§ 11.

Passons maintenant à la construction géométrique des fonctions transcendantes et commençons par les courbes qui correspondent aux fonctions exponentielles $y = e^x$ et $y = a^x$, où $e = 2,718...$, base des logarithmes naturels, et $a = 10$, base des logarithmes ordinaires. Dans les deux cas $x = 0$ donne

$y = e^0 = a^0 = 1$, ainsi les deux courbes passent par le même point B de l'axe des ordonnées (fig. 24).

Pour $x = 1$, on a $y = e^1 = 2,718...$, et $y = a^1 = 10$.
$x = 2$, $y = e^2 = 7,389...$, $y = a^2 = 100$.
$x = 3$, $y = e^3 = 20,085...$, $y = a^3 = 1000$.

Pour

$$x = -1, y = e^{-1} = \frac{1}{e} = 0,368..., y = a^{-1} = \frac{1}{a} = 0,1.$$

$$x = -2, y = e^{-2} = \frac{1}{e^2} = 0,135..., y = a^{-2} = \frac{1}{a^2} = 0,01.$$

$$x = -3, y = e^{-3} = \frac{1}{e^3} = 0,049..., y = a^{-3} = \frac{1}{a^3} - 0,001, \text{ etc.}$$

Pour $x = -\infty$, on a dans les deux cas

$$y = \frac{1}{e^\infty} = \frac{1}{a^\infty} = 0.$$

Ainsi pour les valeurs positives de x, celles de y croissent rapidement, surtout celles de $y = a^x$; pour les valeurs négatives de x, celles de y diminuent pendant que celles de x augmentent, les courbes se rapprochent de plus en plus de l'axe AX' qui devient asymptote commune à toutes deux.

Comme $y = e^x$ donne $x = \log. \text{nat. } y = a^x$ $x = \log. y$, la courbe $y = e^x$ donne la série des logarithmes naturels, et celle $y = a^x$ la série des logarithmes ordinaires, en ce sens que les abscisses sont les logarithmes des ordonnées correspondantes.

On a, par exemple, AC = log. nat. CD, et AE = log. EF

§ 12.

Parmi les fonctions transcendantes nous construirons encore géométriquement les fonctions connues sous le nom de fonctions circulaires.

La fonction des sinus, $y = \sin x$, rapportée au rayon 1, donne

pour $x = 0$, $y = 0$; pour $x = \frac{\pi}{4} = 0,7854..$, $y = 0,707...$;

$$x = \frac{\pi}{2} = 1,5708, y = 1, \text{ pour } x = \pi = 3,1416, y = 0;$$

$$x = \frac{3\pi}{2}, y = -1, \text{ pour } x = 2\pi, y = 0, \text{ etc.}$$

En portant (fig. 25) les longueurs des arcs x comme abscisses, et les valeurs correspondantes de $y = \sin x$ comme ordonnées, on obtient une courbe continue à ondulations, ABCD...., appelée courbe des sinus ou sinusoïde, qui se développe symétriquement des deux côtés de l'axe des abscisses et peut être continuée à l'infini.

Pour construire la courbe dite cosinusoïde (courbe des cosinus) GHI..., correspondante à la fonction $y = \cos x$, il faut considérer que pour $x = 0$, on a $y = 1$; pour $x = \frac{\pi}{4}$, $y = 0{,}707...$; pour $x = \frac{\pi}{2}$, $y\ 0$; pour $x = \pi$, $y = -1$; pour $x = \frac{3}{2}\pi$, $y = 0$; pour $x = 2\pi$, $y = 1$, etc.

Ainsi la courbe des cosinus se meut dans les mêmes limites que celle des sinus, mais la figure 25 montre qu'elle reste en arrière de celle-ci, sur l'axe des abscisses, de $\frac{1}{2}\pi = 1{,}5708...$

De la même manière nous trouvons dans la fig. 26 les figures géométriques des fonctions $y = \text{tang.}\, x$ et $y = \text{cosy.}\, x$. De y tang. x on tire d'abord, pour $x = 0$, $y = 0$; $x = \frac{\pi}{4}$ $y = 1$;

$x = \frac{\pi}{2}$ $y = \infty$; $x = \frac{3}{4}\pi$, $y = -1$; $x = \pi$, $y = 0$; puis pour $x = \frac{5}{4}\pi$, $y = 1$, $x = \frac{3}{2}\pi$, $y = -\infty$; $x = 2\pi$, $y = 0$, etc.

En multipliant davantage les valeurs de x, celles de y se répètent toujours, et nous trouvons une suite de courbes égales à ABC..., qui, dans la direction de l'axe des abscisses, sont distantes l'une de l'autre de la quantité $\pi = 3{,}1416$, et qui ont pour asymptotes les ordonnées passant par les points

$$\frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}...$$

L'équation $y = \text{cosy.}\, x$ donne

$$\text{pour } x = 0, \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{4}, \pi, \frac{5}{4}\pi, \frac{3}{2}\pi, 2\pi...$$

$$y = \infty, 1, 0, -1, -\infty, 1, 0, \infty...$$

Les courbes qui en résultent, comme DBEG, ne se distinguent des précédentes que par la position.

§ 13.

Ce que nous venons d'exposer peut suffire pour faire connaître à des élèves la méthode de la construction graphique des différentes fonctions usuelles et pour les mettre en état de représenter la figure graphique de chaque fonction de la forme $y = f(x)$ ou $z = f(x, y)$.

Les lois de la nature pouvant souvent être exprimées par des fonctions de deux ou de trois valeurs, elles sont aussi susceptibles d'être construites graphiquement, et, dans la deuxième partie de cette note, nous représenterons comme exemples quelques lois de la physique et de la mécanique.

Représentation graphique des lois de la nature.

§ 14.

Comme cas le plus simple, nous nous occupons d'abord de la construction des lois du mouvement, en portant comme abscisses les temps écoulés (t), et comme ordonnées les vitesses correspondantes (c).

1. Le mouvement uniforme sera représenté par une droite C D (fig. 27), parallèle à AX, parce que dans des temps égaux les chemins parcourus sont égaux.

Or, on a le chemin $s = c.\ t$; ainsi le chemin parcouru peut être représenté par la surface d'un rectangle ABCD dont la base AB est égale au temps écoulé t et la hauteur AC égale à la vitesse c.

Naturellement on prendra la même échelle pour t et pour c, c'est-à-dire la même unité de longueur représentée à l'unité de temps (1 seconde) et l'unité de longueur (1 mètre).

2. Le mouvement uniformément accéléré, dans lequel la vitesse croît en proportion du temps, est représenté graphiquement par une droite AZ (fig. 28) qui monte en partant de l'axe des abscisses; car ce n'est que pour une droite située comme il

est dit que les coordonnées sont dans le même rapport que les abscisses. Mettons $AN = 1$, $AN_1 = 2$, $AN_2 = 3$, etc., et soit NM la vitesse après la première seconde, $N_1 M_1 = 2$ NM sera celle après la deuxième, $N_2 M_2 = 3$ NM celle après la troisième seconde, etc., et on a

$$AM : AN_1 : AN_2 .... = NM : N_1M_1 : N_2M_2 : ... = 1 : 2 : 3....,$$

c'est-à-dire les vitesses finales croissent comme les temps.

En représentant l'accroissement de la vitesse par seconde (NM) par g, et la vitesse finale atteinte après le temps t (BC) par v, on tire de (fig. 28) $BC : AB = MN : AN$ ou $v : t = g : 1$, ainsi $v = gt$.

Le chemin s parcouru par ce mouvement uniformément accéléré s'obtient, comme on sait, de l'équation $s = \frac{g \cdot t^2}{2}$, dont l'exactitude résulte de la considération suivante :

On peut supposer que, pendant un élément de temps infiniment petit, mn, le mouvement ait lieu uniformément avec la vitesse mp, en sorte que l'élément de chemin parcouru dans cet élément de temps soit représenté par le produit $mn \times mp$, ou par la surface du trapèze $mnqp$ regardé comme un rectangle. Si l'on s'imagine ensuite le triangle entier ABC décomposé par les ordonnées qui se suivent immédiatement en un nombre infini de tranches infiniment étroites, leurs surfaces seront les éléments de chemin parcouru dans les éléments de temps successifs, et la somme de tous ces éléments de surface, c'est-à-dire la surface du triangle entier indiquera la somme de tous les éléments de chemin, ou le chemin total s parcouru pendant le temps t.

Ainsi on a $s = \frac{AB.BC}{2} = \frac{t.v}{2}$, ou à cause de $v = g.t$, $s = \frac{g.t^2}{2}$.

3. Le mouvement uniformément retardé, dans lequel la vitesse diminue d'une quantité égale dans chaque seconde successive, sera représenté, comme dans la figure 29, par une droite descendante vers l'axe des abscisses. Soit $AB = c$ la vitesse initiale, g la diminution de la vitesse en 1 seconde, et $DC = v$ la vitesse finale après l'écoulement de $t = AD$ secondes, on aura évidemment $v = CD = AB - BC_1 = C - gt$.

Le chemin parcouru dans le temps t peut encore être représenté par la surface du trapèze ABCD, car les lois de ce mouvement sont les mêmes que celles du mouvement uniformément accéléré, seulement il faut les prendre en sens inverse; ainsi on a $s = (AB + CD)\frac{AD}{2} = (c + v)\frac{t}{2}$, ou en substituant la valeur de v, $s = (c + c - gt)\frac{t}{2} = ct - \frac{gt^2}{2}$.

Dans la chute libre des corps dans l'espace vide on sait que la vitesse finale correspondante à la hauteur de la chute x est $y = \sqrt{2gx}$; cette équation correspond à celle de la parabole $y = \sqrt{px}$, en prenant le paramètre $p = 2g$: ainsi la loi de la chute peut être représentée graphiquement (fig. 30) par une parabole dont le paramètre est $p = 2g$: Les abscisses AP, AP_1,... sont les espaces parcourus et les ordonnées correspondantes MP, M_1P_1... les vitesses finales acquises par ces mouvements parcourus.

4. Le mouvement, variable avec des changements de vitesse inégaux pour des intervalles de temps égaux, peut être accéléré ou retardé, suivant que la vitesse augmente ou diminue.

Le mouvement varié accéléré sera en général représenté graphiquement par une courbe BC (fig. 31) qui monte à partir de l'origine, et dont les ordonnées, c'est-à-dire les vitesses, augmentent avec les abscisses, c'est-à-dire avec les temps.

Le mouvement varié retardé, au contraire, sera représenté par une ligne B_1C_1, descendant vers l'axe des abscisses, dont les ordonnées ou vitesses diminuent de plus en plus à mesure que les abscisses ou les temps augmentent. Si la relation entre la vitesse et le temps est connue, la représentation du mouvement ABCD peut être construite, et la surface de cette figure doit être égalée au chemin parcouru en vertu de ce mouvement variable. En effet, on peut de nouveau supposer que, pendant un élément de temps mn infiniment petit, le mouvement est uniforme avec la vitesse mp, en sorte que la surface $mnqp$, c'est-à-dire $mn \times qp$, représente le chemin parcouru dans l'élément de temps mn. Or si toute la figure ABCD est décomposée par les ordonnées en un nombre infini de tranches qu'on peut regarder comme des rectangles, les surfaces de ces tranches, comme nous venons de

le dire, sont les chemins parcourus dans les éléments de temps successifs, et la somme de ces surfaces sera le chemin parcouru dans le temps AD = t.

§ 15.

Parmi les différents mouvements variables, les mouvements périodiques et les mouvements d'oscillation sont de la plus grande importance. On ne les rencontre pas seulement dans presque toutes les machines, ils jouent aussi un grand rôle dans la physique ; car les ondulations de l'eau, les oscillations des corps sonores, les mouvements de l'éther sur lesquels se basent les phénomènes de la lumière et probablement aussi ceux de la chaleur et de l'électricité, sont du nombre des mouvements périodiques et oscillatoires.

Dans ces mouvements on peut encore regarder le chemin parcouru comme fonction du temps et de la vitesse.

Pour la représentation graphique on prend les temps comme abscisses et les vitesses respectives comme ordonnées.

La figure ondulée CDEFG (fig. 32) représente un mouvement périodique. On peut la supposer formée par le mouvement d'un point C tendant à se mouvoir constamment avec la vitesse uniforme AC le long de la droite CG, mais qui, par une cause régulière quelconque, est à tout moment modifié, en sorte qu'il ne peut atteindre sa vitesse moyenne ou normale que par moments, comme en CEG... Toute la durée t d'une période est indiquée par la longueur AB et elle est composée de deux moitiés AI et IB. Pendant la première moitié, la vitesse est plus grande que AC et atteint en DH son maximum; dans la seconde moitié, la vitesse devient plus petite que AC et a son maximum en FK. La droite CG est, en quelque sorte, l'axe de la ligne ondulée; elle la partage en deux parties égales, mais contraires CDE et EFG.

Si AC = 0, on a sous les mêmes circonstances la ligne ondulatoire AIB (fig. 32) qui représente un mouvement oscillatoire périodique (de va-et-vient).

Les vitesses devenant ici négatives dans la seconde moitié, cela montre que la direction du mouvement pendant le temps IB est opposée à celle pendant le temps AI. On voit que cette

oscillation correspond à celle d'un pendule : AI correspond à une allée et IB à une venue.

§ 16.

Dans tout mouvement varié il est d'un grand intérêt de connaître la vitesse moyenne de ce mouvement. La vitesse moyenne v se trouve si l'on divise l'espace (s) parcouru pendant un certain temps (t), par exemple, pendant une période d'un mouvement périodique, par le temps. On peut la regarder comme la vitesse qu'un corps devrait avoir pour parcourir dans le temps donné (t) le même chemin donné (s), par vitesse uniforme, qu'il parcourrait en réalité dans le même temps avec sa vitesse variable.

De la relation $v = \frac{s}{t}$, on tire $s = vt$, d'où il suit que la vitesse moyenne peut être prise pour la hauteur du rectangle qui a pour base le temps t et pour surface le chemin parcouru s. Si, par exemple, la figure 33 représente un mouvement variable quelconque, la droite AB indiquant le temps t, les ordonnées, les différentes vitesses, l'aire ACDEB indique, comme nous avons vu, le chemin parcouru s. Si donc nous voulons déterminer la vitesse moyenne v, nous devons transformer l'aire ACDEB en un rectangle AMNB de la même aire et de la même base; la hauteur MN de ce rectangle sera la vitesse moyenne cherchée.

Ainsi la hauteur AC du rectangle ACGB (fig. 32) indique la vitesse moyenne du mouvement périodique qui est représenté par cette figure.

§ 17.

A l'aide de cette méthode on peut, du reste, déterminer la valeur moyenne de toute valeur variable, c'est-à-dire la valeur constante qui, à un point de vue quelconque, produit le même résultat que la valeur variable.

Soit donné en général $y = f(x)$, cette relation de x peut d'abord être représentée par une courbe CDE (fig. 33) qu'on obtient en prenant, pour des valeurs particulières de $x = AP$, les valeurs correspondantes de y comme ordonnées. Si, entre

les limites possibles, par exemple de $x = 0$, jusqu'à $x =$ A B, on a pris un nombre suffisant de valeurs particulières de x, les ordonnées respectives dans leur ensemble déterminent la figure AC D EB qui représente la fonction $y = f(x)$.

D'après ce qui précède, la valeur moyenne de y s'obtient en transformant la figure A C D EB en un rectangle AMNB de la même base et de la même aire, et en prenant la hauteur AM de ce rectangle pour la valeur constante cherchée.

Qu'on cherche, par exemple, la valeur moyenne d'une force variable, c'est-à-dire la force constante qui, agissant le long d'un chemin de même longueur que la force variable, produise le même travail, on partagera le chemin parcouru $s =$ AB (fig. 33) en un grand nombre de parties, et l'on portera, comme ordonnées, les intensités de la force correspondantes à chacun de ces éléments de chemin. Ces ordonnées, dans leur ensemble, détermineront la figure A C D E B dont la surface représente le travail de la force variable; par suite la hauteur A M du rectangle, qui a la même hauteur et la même aire que la figure ACDEB, indiquera la force moyenne cherchée.

Pour donner encore un exemple, supposons qu'en un lieu donné, pendant un espace de temps déterminé, et pour différents intervalles de temps, la température soit variable, la valeur moyenne de cette grandeur variable sera la température constante qui dans le même espace de temps produirait une même quantité de chaleur que la température variable en produit effectivement.

Or la quantité de chaleur produite dans un certain espace de temps est proportionnelle au degré de température et au temps pendant lequel ce degré dure.

Regardons donc les différents intervalles de temps comme abscisses et portons comme coordonnées correspondantes les degrés de température qui ont lieu dans ces moments (fig. 33), l'aire de la figure ACD EB formée par ces ordonnées exprimera la quantité de chaleur développée dans l'espace de temps AB, et la hauteur AM du rectangle, qui a même base et une aire égale à celle de la figure ACDEB, sera encore la température moyenne que nous cherchons pour le temps AB.

§ 18.

En cherchant la valeur moyenne d'une quantité variable, on est toujours ramené à déterminer l'aire d'une surface ACDB (fig. 34) formée sur une base donnée $AB = x$ par une série d'ordonnées, et cette aire se détermine, par approximation, le plus facilement en décomposant toute la surface en n trapèzes, par un nombre suffisamment grand d'ordonnées équidistantes y_0, y_1, y_2..., en transformant ensuite ces trapèzes par le moyen indiqué par la figure 34 en des rectangles de même aire, et en prenant enfin la somme de ces rectangles.

L'aire totale est donc :

$$F = \overline{A1} \times h_1 + \overline{12} \times h_2 + \overline{23} \times h3 + \overline{34} \times h_4 + \ldots\ldots ;$$

or,
$$\overline{A1} = \overline{12} = \overline{23} = \overline{34} = \ldots = \frac{x}{n},$$

on a
$$F = \frac{x}{n}(h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + \ldots \cdot h^n).$$

La formule de Simpson donne d'ailleurs cette aire encore plus exactement.

Les ingénieurs praticiens étant souvent dans le cas de faire usage de cette dernière formule, nous croyons devoir la développer brièvement.

Soit ABPQN l'aire dont on cherche la surface, et qui est limitée (fig. 35) par la base $AN = x$ et par les trois ordonnées équidistantes y_0, y_1, y_2; décomposons-la en un trapèze ABQN et un segment BPQSB. Pour le trapèze on a l'aire $F_1 = (y_0 + y_2)\frac{x}{2}$.

Pour le segment, en regardant l'arc BPQ comme partie d'une parabole, on trouve l'aire

$$F_2 = \frac{2}{3} PS.\ BR = \frac{2}{3}(MP - MS) AN = \frac{2}{3}\left(y_1 - \frac{y_0 + y_2}{2}\right)x.$$

Ainsi l'aire totale sera

$$F = F_1 + F_2 = \left(\frac{1}{2}(y_0 + y_2) + \frac{2}{3}\left(y_1 - \frac{y_0 + y_2}{2}\right)\right).$$

$$x = (y_0 + 4y_1 + y_2)\frac{x}{6}. \qquad (1)$$

En nous servant de cette formule pour trouver l'aire d'une surface ACDB (fig. 34), partageons-la par $(n+1)$ ordonnées en n tranches d'égale largeur, en prenant pour n un nombre pair; puis cherchons les aires des paires de tranches successives, et ajoutons-les ensemble.

La largeur d'une tranche est $\frac{x}{n}$, celle d'une paire de tranches $\frac{2x}{n}$; ainsi, d'après l'équation (1),

l'aire de la première paire de tranches $= \frac{y^0 + 4y_1 + y_2}{6} \cdot \frac{2x.}{n}$,

Id. deuxième id. $\frac{y_2 + 4y_3 + y_4}{6} \cdot \frac{2x}{n}$,

Id. troisième id. $\frac{y_4 + 4y_5 + y_6}{6} \cdot \frac{2x}{n}$,

etc.

L'aire totale des trois premières paires de tranches, ou des six premières tranches, sera donc, pour $n = 6$,

$$F = (y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + 2y_4 + 4y_5 + y_6.)\frac{x}{3.6}$$

$$= (y_0 + y_6 + 4(y_1 + y_3 + y_5) + 2(y_2 + y_4)) \cdot \frac{x}{3.6}.$$

Pour quatre paires de tranches, ou huit tranches, nous avons $n = 8$.

$$P = (y_0 + y_8 + 4(y_1 + y_3 + y_5 + y_7) + 2(y_2 + y_4 + y_6)) \cdot \frac{x}{3.8},$$

et en général l'aire des n tranches se trouvera

$$F = (y_0 + y_n + 4(y_1 + y_3 + y_5 + \cdots y_{n-1}) + 2\,y(_2 + y_4 + y_6 + \\ + \cdots y_{n-2})) \cdot \frac{x}{3.n},$$

ce qui est la formule des impairs.

Pour terminer ce chapitre, construisons encore graphiquement, outre les lois du mouvement que nous venons de prendre pour exemple, quelques autres lois naturelles, par exemple la loi d'Ohm et la loi de Gay-Lussac.

1) *Loi d'Ohm.* Supposons un circuit électrique constant, et désignons par x la résistance que le courant électrique doit vaincre dans le circuit et dans le conducteur qui la ferme, par z l'intensité du courant électrique, on sait que le produit $x.z$ est la mesure de ce qu'on appelle la force électro-motrice, qui produit l'électricité nécessaire pour former le courant électrique et qui lui fait traverser les conducteurs.

L'équation $y = x.\,z$ exprime ce qu'on connaît sous le nom de la loi d'Ohm; $z = \frac{y}{x}$.

Pour la représentation graphique (fig. 36), nous tirons de cette équation

en posant	$y = \frac{1}{10}$,
pour	$x = 0,\ 1,\ 2,\ 3,\ 4\ldots$
	$z = \infty,\ \frac{1}{10},\ \frac{1}{20},\ \frac{1}{30},\ \frac{1}{40}\ldots$
en posant	$y = 1$,
pour	$x = 0.\ 1,\ 2,\ 3,\ 4\ldots$
	$z = \infty,\ 1,\ \frac{1}{2},\ \frac{1}{3},\ \frac{1}{4}\ldots$
en posant	$y = 2$,
pour	$x = 0,\ 1,\ 2,\ 3,\ 4\ldots$
	$z = \infty,\ 2,\ 1,\ \frac{2}{3},\ \frac{1}{2}\ldots$
en posant	$y = 3$,
pour	$x = 0,\ 1,\ 2,\ 3,\ 4\ldots$
	$z = \infty,\ 3,\ \frac{3}{2},\ 1,\ \frac{3}{4}\ldots$
en posant	$y = 4$,
pour	$x = 0,\ 1,\ 2,\ 3,\ 4\ldots$
	$z = \infty,\ 4,\ 2,\ \frac{4}{3},\ 1\ldots$, etc.

Dans la figure les lignes mesurées depuis A dans la direction AX indiquent les résistances des conducteurs, celles dans la direction AY les forces électro-motrices, les ordonnées parallèles à AZ les intensités du courant. Les courbes parallèles au plan XZ, par exemple celle *u v*, dont les ordonnées représentent les intensités des courants pour des résistances variables des conducteurs, mais pour une force électro-motrice constante, ce sont des hyperboles (comp. § 8). Les lignes qui relient les extrémités

des intensités des courants pour la même résistance des conducteurs (par exemple $x = A\,4$) et pour les forces électro-motrices variables, sont des lignes droites (comme $u\,4$), parce que, pour x constant, z est proportionnel à y; ces droites $u\,4$, $i\,3$, $k\,3$... ne sont pas parallèles et ne se coupent pas, ainsi leur ensemble forme, comme résultat de la construction graphique, de la fonction $z = \frac{y}{x}$, une surface gauche du deuxième degré [1]. Les propriétés ultérieures de cette surface gauche pouvant être facilement déduites de l'examen de la figure géométrique, nous passons à la représentation de la deuxième loi.

2) *Loi de Gay-Lussac.* — On sait que la densité et par conséquent la tension d'un gaz dépendent de la température et du volume occupé par une certaine quantité de ce gaz, qu'ainsi la densité est une fonction de la température et du volume.

Considérons par exemple un certain volume V_0 d'air atmosphérique ayant, à la température de 0°, une certaine tension p_0 exprimée en atmosphères : pour la tension z de la même quantité d'air, à la température de y° C (centigrades) et occupant le volume x, les expériences les plus récentes donnent l'équation suivante :

$$z = \frac{(1 + 0{,}00367\,y)\,p_0\,V_0}{x} \ldots \qquad (1)$$

Supposons que pour 0° C la tension p_0 soit 1 atmosphère, et le volume $V_0 = 1$ pied cube, nous aurons pour ce cas particulier

$$z = \frac{1 + 0{,}00367\,y}{x}. \qquad (2)$$

Comme pour $x = 0$, z devient infiniment grand, pour toutes les valeurs de y [2], la surface correspondante à la fonction (2) ne peut jamais atteindre le plan YZ.

1. La surface est un paraboloïde hyperbolique, puisque ses génératrices sont parallèles à un même plan; pour la discussion, voir le numéro suivant.

Note du traducteur.

2. Il en faut excepter le cas $y = -\frac{1}{0{,}00367} = -272$, pour lequel on aurait $z = \frac{0}{0}$. Cette équation indique que toute la droite parallèle à la ligne AZ, et passant par le point $x = 0$, $y = -272$, se trouve sur la surface; voyez du reste la discussion dans la note suivante. *Note du traducteur.*

De même ou trouve $z = 0$ pour $x = \infty$, pour une valeur quelconque de y, ainsi la surface se rapproche aussi de plus en plus du plan XY sans jamais l'atteindre, et ce plan en est un plan asymptote.

La fig. 37 donne la représentation graphique de la loi de Gay-Lussac exprimée par l'équation (2). Nous pouvons en tirer, pour un volume donné, $x = AB$, et pour une température donnée $y = AC = Bp$, la tension correspondante $z = MP$. Les ordonnées de la courbe MRN indiquent les tensions correspondantes aux différents volumes pour une même température $y = AC = BP$, et les ordonnées de la droite MS représentent les tensions correspondantes aux différentes températures pour le même volume $x = AB = CP$.

En comparant cette surface à celle que nous avons examinée dans le précédent numéro, nous voyons qu'elle est encore du nombre des surfaces gauches [1].

1. Les constructions des fonctions $z = f(x, y)$ paraissent présenter des difficultés parce qu'elles ne peuvent être faites exactement dans un même plan, et il sera donc utile, dans le but même de généraliser l'application du principe des constructions graphiques, d'entrer dans quelques détails sur la surface représentant la loi de Gay-Lussac. Il ne s'agit nullement de donner une théorie des surfaces gauches du deuxième degré, mais seulement de tirer de l'équation (2) tout ce qui est nécessaire pour la construction exacte, et qui peut se déduire de l'équation par de simples raisonnements ou par les opérations les plus élémentaires. On trouvera que la position particulièrement favorable de la surface aura beaucoup facilité ce travail, mais les suppositions par lesquelles l'équation (1) a été transformée en celle (2) sont tellement naturelles qu'on en pourra presque toujours faire d'analogues, et qu'elles n'ont en rien nui à la généralité des raisonnements.

En supposant y constant, par exemple $y = b$, l'équation $z = \frac{1 + 0{,}00367\, b}{x}$, ou $zx = C$, est celle d'une hyperbole rapportée à ses asymptotes exprimées par $z = z$, $x = 0$ l'une, située dans le plan YZ, et l'autre par $x = x$, $z = 0$, située dans le plan XY; le plan de la courbe est parallèle au plan XZ, et les asymptotes parallèles aux axes AZ et AX. Si nous prenons x constant, par exemple $x = a$, l'équation (2) devient celle d'une ligne droite $Z = \frac{1 + 0{,}00367\, y}{a}$: les plans parallèles au plan YZ coupent donc la surface en un système de droites non parallèles entre elles. Mais en prenant $Z = c$ constant, l'équation (2) devient $x = \frac{1 + 0{,}00367\, y}{c}$, ainsi le plans parallèles au plan XY coupent encore la

§ 19.

Dans la pratique il faut souvent comparer les résultats obtenus par des moyens différents, mais sous les mêmes circonstances : c'est ainsi que dans la construction des machines la

surface en un autre système de droites non parallèles entre elles. Ainsi nous trouvons de suite les caractères du paraboloïde hyperbolique, savoir deux systèmes de droites génératrices, celles d'un même système toutes parallèles à un même plan, sans être parallèles entre elles, et les deux plans que nous avons ici sont les plans asymptotes qui passent par l'axe réel AY de la surface.

Si par AY nous faisons passer les deux plans P et P′ qui partagent en deux parties égales les angles des plans XY et YZ, ces deux plans sont caractérisés, le premier, P, par les équations $y = y$, $z = x$, l'autre, P′, par $y = y$, $z = -x$. En substituant dans l'équation (2), nous trouvons les équations des projections des deux courbes d'intersection avec les plans XY et YZ; elles sont x^2 ou $z^2 = 1 + 0{,}00367\ y$, et $-x^2$ ou $-z^2 = 1 + 0{,}00367\ y$. Les deux équations sont celles de paraboles, seulement la première donne des valeurs réelles de z et x pour toutes les valeurs positives de y, et pour les valeurs négatives jusqu'à $y = -272$; l'autre, au contraire, ne donne des valeurs réelles pour x et z que pour les valeurs négatives de y, à partir de $y = -272$. Le point O, pour lequel $x = 0$, $z = 0$, $y = -272$, sur l'axe AY prolongé du côté des y négatifs, est le sommet des deux paraboles et du paraboloïde; un plan F passant par ce point O, et parallèle au plan XZ, contient, pour toutes les courbes de la surface passant par O, les tangentes dans ce point, Ainsi ce plan est tangent à la surface, tout en la coupant suivant les deux droites L et L′ qui se trouvent aussi dans les plans asymptotes XY et YZ, et qui sont désignées par les équations

$$z = 0,\ y = -\frac{1}{0{,}00367} = -272,$$

et

$$x = 0,\ y = -\frac{1}{0{,}00367}.$$

Tous les plans parallèles au plan F coupent la surface en des hyperboles, mais ceux qui sont devant le plan F ont les branches des hyperboles dans les premier et troisième angles des plans XY et YZ (x et z ayant le même signe), tandis que les plans derrière le plan F ont les branches de leurs hyperboles dans les deuxième et quatrième angles des plans XY et YZ (x négatif et z positif, ou bien x positif et z négatif), ce qui est conforme à la direction des deux systèmes de paraboles mentionnées plus haut.

Nous pensons que cela suffira pour se faire une idée nette de la surface et pour en tirer les éléments de toutes les constructions exactes auxquelles on pourrait être conduit par la discussion de l'équation (2), ce qui était le but essentiel de cette note. *Note du traducteur.*

question d'économie oblige souvent à établir un tableau comparatif des effets obtenus par les différents systèmes de machines, dans le même temps et sous les mêmes conditions. Dans ces cas, ce qu'il y a de mieux à faire c'est de construire la représentation graphique des résultats obtenus, figure qui donne d'un coup d'œil la comparaison des différents effets, et permet d'en déduire de suite l'appréciation comparative des différents systèmes.

D'après ce principe nous avons représenté (fig. 38) les effets théoriques des quatre systèmes principaux de machines à vapeur, sous des tensions de vapeur variables, en supposant que chacune de ces machines emploie par heure 2 quintaux de houille, la chaudière présentant une surface de chauffe de 300 pieds carrés (mesure du Rhin). Les tensions de la vapeur sont indiquées en atmosphères et portées comme abscisses, les effets correspondants sont exprimés en force de chevaux et portés comme ordonnées.

La courbe I exprime les effets de la machine la plus simple, sans condensation et sans expansion; la courbe II indique les effets d'une machine à condensation, sans expansion; la courbe III ceux d'une machine à expansion, sans condensation, et la courbe IV ceux d'une machine avec condensation et avec expansion.

En comparant les effets théoriques de ces quatre machines à vapeur, dans les mêmes circonstances, nous tirons de la figure d'abord la conclusion suivante, très-importante pour la pratique : que, pour tout système de machine à vapeur, il y a grand avantage à employer des tensions de vapeur aussi fortes que possible, et à ne construire que des machines à haute pression, d'au moins 4 atmosphères de pression effective.

En comparant la courbe II à la courbe I, on voit que, pour des tensions moyennes de 2 à 3 atmosphères, l'emploi de la condensation est d'un avantage assez considérable; mais pour des tensions plus fortes, de 5 à 6 atmosphères, cet avantage devient tellement petit qu'il est presque compensé par les frais plus considérables de la machine à condensation et par l'augmentation de la résistance propre de la machine due à l'appareil de condensation.

La courbe III prouve que les machines à expansion sont très-

avantageuses pour les hautes pressions, mais qu'elles ne produisent plus un grand avantage pour les tensions moyennes de moins de trois atmosphères.

Le plus grand effet est obtenu de la combinaison de la condensation avec l'expansion, comme on le voit par la courbe IV. Cependant il ne faut pas oublier que cet effet théorique est considérablement diminué par la complication de ces machines et par les grandes résistances qui en résultent : le principal but de la pratique devra donc être de chercher à construire des machines à haute pression, avec condensation et expansion, qui soient aussi simples que possible et dont les résistances au mouvement soient réduites à un minimum.

§ 20.

Disons encore quelques mots de *l'interpolation graphique.*

Soit $y = f(x)$ une fonction de forme inconnue, mais dont on a donné un certain nombre de valeurs de la fonction $y_1, y_2, y_3.., y^n$ avec les valeurs correspondantes de la variable principale $x_1, x_2, x_3,... x_n$; si l'on demande les valeurs de la fonction y correspondantes à d'autres valeurs de x comprises entre les valeurs données, on les trouvera très-facilement en portant, d'après une échelle quelconque, les valeurs connues de x comme abscisses, et d'après la même échelle ou d'après une autre quelconque, les valeurs respectives de y comme ordonnées, et en traçant une courbe continue par les points ainsi obtenus. Cette courbe donnera les valeurs de la fonction y pour toutes celles de la variable principale x, en prenant l'ordonnée correspondante à une abscisse donnée.

Quelques exemples pratiques serviront à expliquer cette méthode.

1. On sait que si nous soumettons les colonnes à des forces qui tendent à les écraser, leur résistance est indépendante de la longueur (l) aussi longtemps que celle-ci ne dépasse pas de beaucoup leur épaisseur (d).

Si, au contraire, la longueur devient 10, 20, 30... fois plus grande que l'épaisseur de la colonne, la résistance diminue par l'augmentation de la longueur.

Désignons par P la résistance d'une colonne pour laquelle $l = d$, on trouve, d'après les essais de Hodgkinson, la résistance P_1, pour colonnes de même matière et section transversale, mais pour lesquelles on a

$$\frac{l}{d} = 10,\ 20,\ 30,\ 40,\ 50,\ 60,\ 70,\ 80,\ 90,\ 100.$$

$$P_1 = 0{,}559\ P;\ 0{,}357\ P;\ 0{,}223\ P;\ 0{,}146\ P;\ 0{,}101\ P;\ 0{,}074\ P;\ 0{,}056\ P;\ 0{,}044\ P;\ 0{,}035\ P;\ 0{,}029\ P.$$

Portons (fig. 39) ces valeurs de $\frac{l}{d}$ comme abscisses et les valeurs correspondantes de P_1 comme ordonnées, en prenant une longueur arbitraire (1 B) pour P, nous trouvons pour chaque valeur de $\frac{l}{d}$ entre 1 et 100, par exemple pour $AN = 35$, dans l'ordonnée correspondante $NM = 0{,}184\ P$ la valeur cherchée de la résistance P_1.

2. Un bateau flottant dans l'eau sans mouvement, on a trouvé que pour les vitesses

$$v = 1{,}925;\ 2{,}222;\ 2{,}628;\ 4{,}045 \text{ milles (par heure)},$$

les résistances étaient $w = 11{,}00;\ 13{,}08;\ 18{,}10;\ 47{,}26$ livres; quelle sera la résistance pour une vitesse de 3 milles par heure?

En portant (fig. 40) les vitesses données comme abscisses et les résistances respectives comme ordonnées, nous trouvons la courbe uv qui pour $v = 3$ donne la résistance correspondante $3\ P = 24{,}45$ livres.

Nous pensons que ce que nous venons d'exposer suffira pour familiariser les jeunes ingénieurs qui débutent dans la carrière technique avec la construction graphique des fonctions, et pour les mettre en état d'en tirer l'avantage partout où elle pourra être convenablement appliquée.

CONSERVATOIRE IMPÉRIAL DES ARTS ET MÉTIERS.

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

FAITES

SUR UNE NORIA DE M. SAINT-ROMAS.

Sur la demande de M. Couronne, contrôleur principal du service des eaux de Paris, des expériences ont été faites sur une noria de M. Saint-Romas, installée à l'établissement municipal du quai d'Austerlitz.

Cette noria, placée au-dessus du puisard servant à l'alimentation des pompes, est destinée à vider ce réservoir, lorsque son nettoyage est devenu nécessaire.

L'appareil se compose d'un premier arbre horizontal portant deux volants et qui, au moyen d'un pignon denté, commande une roue calée sur un arbre parallèle qui porte en même temps le tambour ou tourteau de la noria.

Ce tambour, de forme triangulaire, est armé de ressorts qui ont pour but d'amortir les trépidations de la chaîne. Une disposition particulière permet à l'eau de remplir plus rapidement les godets. Elle consiste en une sorte de siphon ou tube par lequel l'air s'échappe au fur et à mesure de l'immersion de chacun des godets.

A l'aide de cette disposition, semblable à celle employée par M. Buzetil, dans la construction d'une noria que possède le Conservatoire, les godets se remplissent complétement sans offrir autant de résistance qu'avec la noria ordinaire.

Une manivelle dynamométrique calée sur l'arbre moteur a été

employée pour évaluer le travail développé dans chacune des sept expériences qui ont été faites le 11 décembre 1865.

Dans une première série d'expériences, le ressort de cette manivelle était insuffisant, et la détermination du débit a pu seule être faite avec une suffisante exactitude.

L'eau a été recueillie dans un réservoir rectangulaire ayant $0^m,80$ de largeur sur 2 mètres de longueur.

Dans l'expérience du 18 novembre 1865, la hauteur d'eau recueillie dans ce réservoir a été de $0^m,51$ correspondant ainsi à un volume de $0,51 \times 0,80 \times 2,00 = 816$ litres; le nombre de tours de l'arbre à manivelle a été pendant ce temps de 224 tours.

Le débit par tour de manivelle est par conséquent de

$$\frac{816^l}{224} = 3^l,643,$$

ce qui correspond à un débit par auget de $7^l,40$. Le débit calculé d'après les dimensions de l'appareil a été trouvé égal à $7^l,58$.

Les godets arrivaient donc au jour sensiblement pleins, et la perte lors du déversement peut être considérée comme à peu près insignifiante.

Dans les expériences du 11 décembre 1865, la hauteur d'élévation totale comptée depuis le niveau de l'eau jusqu'au-dessous de l'auget supérieur a été de $9^m,10$; mais, au point de vue du travail utile, il faut en retrancher $0^m,52$ pour tenir compte du niveau du déversoir qui recueille l'eau montée, et la hauteur réellement utilisée se trouve ainsi réduite à $8^m,58$.

Le ressort dynamométrique employé dans ces expériences fléchit de 1 millimètre pour un effort de la manivelle $1^k,21$, le rayon de la manivelle est $r = 0^m,354$ et par suite la circonférence décrite $C = 2^m,223$. Le travail développé, ainsi que les différents résultats déduits de ces essais, sont consignés dans le tableau suivant :

Numéros des expériences.	Nombre des tours par minute.	Manivelle dynamométrique.			Travail mesuré en eau élevée par seconde.	Rendement.	Vitesse moyenne de la chaîne à godets.	OBSERVATIONS.
		Ordonnée moyenne des diagrammes.	Effort moyen mesuré.	Travail correspondant par seconde.				
							m.	Hommes à la manivelle.
8	42	13.40	16.214	25.23	21.879	0.867	0.125	1
9	44	14.20	17.180	27.88	22.910	0.820	0.130	1
3	46	14.90	18.029	30.46	23.938	0.780	0.137	2
5	48	14.40	17.424	30.99	25.000	0.806	0.143	2
4	50	13.90	16.819	31.15	25.997	0.830	0.149	2
7	50	14.08	17.037	32.55	25.997	0.824	0.149	1
6	60	15.50	18.755	41.69	31.257	0.749	0.179	1 homme pendant 30'
Moyennes.	48.6					0.811		

Il résulte de l'inspection de ce tableau :

1° Que le rapport entre le travail dépensé et le travail utilisé en eau élevée a été en moyenne égal à 0,811 ;

2° Que ce rendement s'est élevé au-dessus de ce chiffre et jusqu'à atteindre 0,867 pour les vitesses les plus faibles. La colonne des observations montre en même temps dans quelles proportions le travail de l'homme peut varier et dépasser momentanément le travail normal de 6 kilogrammètres généralement admis pour l'homme travaillant à la manivelle.

La machine tout entière est solidement construite, simple, exigeant peu de frais d'installation. Comme toutes les machines du même genre, elle peut rendre de grands services dans les épuisements à petite profondeur ou même à plus grande hauteur, lorsque les organes des pompes seraient sujets à des réparations trop fréquentes résultant des graviers ou des impuretés de l'eau à élever.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des Arts et Métiers,

Paris, le 10 janvier 1866.

H. TRESCA.

Vu : le directeur, Général MORIN.

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

FAITES

au Conservatoire impérial des Arts et Métiers

SUR UN COMPTEUR A EAU DE M. PIOZ,

PAR M. H. TRESCA.

M. Pioz a présenté au Conservatoire des Arts et Métiers, pour y être expérimenté, un compteur à eau de son invention.

Ce compteur se compose de deux poches cylindriques en métal, glissant autour d'un cylindre central formant guide. Ce cylindre contient les différents organes qui distribuent l'eau alternativement dans chacune des poches, qui se déplacent horizontalement.

Les deux poches ont leurs axes dans le prolongement l'un de l'autre et sont reliées entre elles par trois entretoises, de telle sorte que le remplissage de l'une des deux capacités force l'eau contenue dans l'autre à s'échapper au dehors.

Un joint mobile, destiné à empêcher l'eau de passer entre la poche et son guide, se compose d'une feuille de caoutchouc fixée d'une part au cylindre central, et d'autre part à la poche animée d'un mouvement alternatif.

Pendant le fonctionnement de l'appareil, cette membrane se roule et se déroule dans la portion annulaire comprise entre les deux pièces, et forme un joint parfaitement étanche. Cette disposition permet en même temps de maintenir la constance du volume final de chacune des poches, le caoutchouc étant parfaitement maintenu pendant son plissement dans la rainure annulaire déjà indiquée.

Les organes de distribution se composent :

1° De deux valves qui viennent successivement obstruer les orifices d'entrée et de sortie disposés pour le mouvement de l'eau dans l'intérieur du guide cylindrique;

2° D'un levier distributeur muni d'un contre-poids, qui vient agir sur ces valves, par l'intermédiaire de deux arbres pénétrant dans l'intérieur des deux capacités, en traversant des orifices garnis de presse-étoupes. Ce levier est lui-même mis en mouvement par une sorte de came en hélice formant une quatrième entretoise entre les deux poches. Cette came vient rencontrer le levier à contre-poids lors du mouvement de tout le système dans un sens ou dans l'autre.

Le mouvement de va-et-vient ainsi obtenu est transmis aux cadrans du compteur au moyen d'un petit arbre à deux rainures à pas croisés, et de deux roues à rochets, portant des ergots qui viennent se loger dans les rainures, dentées dans le même sens, et fixées sur la portion du mécanisme qui marche d'un mouvement alternatif.

Ce petit arbre, étant monté sur le dernier mobile de la transmission des aiguilles, est ainsi animé d'un mouvement de rotation continu produit par le mouvement rectiligne alternatif de tout le système.

Dans les expériences qui ont été faites sur ce compteur, et dont les résultats sont relatés dans le tableau suivant, ce mouvement de rotation continu présentait de petits temps d'arrêt provenant du jeu produit par l'usé des rainures. Par suite de cette circonstance, les nombres trouvés au compteur ont été sensiblement plus faibles qu'ils ne l'auraient été dans un appareil mieux construit ou en meilleur état d'entretien.

Résumé des expériences faites sur le compteur à eau de M. Pioz.

N^{os} des BASSINS.	Charge d'eau sur le COMPTEUR.	Volume d'eau mesuré.	Volume indiqué au COMPTEUR.	Différence. totale.	Différence. par hectolitre.	Durée de l'expérience.	Débit par heure.
		litres.	lit.	lit.	lit.		litres.
4me bassin..	13^m.70	1000	932.97	67.03	6.703	20' 50"	2880
		500	459.40	40.60	8.12	59' 17"	506
		200	183.85	16.15	8.075	130' 10"	92
3me bassin..	9^m.70	1000	925.28	74.72	7.472	20' 30"	2927
		500	458.34	41.66	8.532	54' 26"	1102
		200	182.97	17.03	8.515	114'	105
2me bassin..	6^m.70	1000	926.17	73.83	7.38	31' 53"	1882
1er bassin..	3^m.60	1000	918.58	81.42	8.14	38' 30"	1520
		500	454.45	45.55	9.11	96' 45"	310
		125	113.70	11.30	8.104	129' 17"	58

Ce tableau montre que, pour des charges d'eau variant de 3^m,60 à 13^m,70, et pour des ouvertures très-différentes du robinet placé sur le tuyau d'échappement, l'erreur par hectolitre commise par le compteur par rapport au jaugeage direct a varié de 6,703 à 9^l,11, c'est-à-dire de 2^l,407 par hectolitre.

Ce compteur a fonctionné très-régulièrement pendant tout le temps des expériences et paraît, à l'égal d'un certain nombre d'appareils analogues, déjà expérimentés au Conservatoire, présenter toutes les conditions exigées par la pratique; savoir : 1° de donner des indications exactes, quelle que soit la charge d'eau sous laquelle l'appareil fonctionne; 2° de ne donner lieu qu'à une perte de pression fort petite dans le trajet du liquide.

Quant aux frais d'entretien de l'appareil, ils ne sauraient être appréciés qu'en service courant. Mais rien n'indique qu'ils puissent être plus élevés dans cet appareil, d'ailleurs très-simple dans sa construction, que dans la plupart des autres compteurs.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des Arts et Métiers,

Paris, le 10 janvier 1866.

H. TRESCA.

Vu : le directeur, Général MORIN.

EXPÉRIENCES

SUR LE

REMORQUAGE DANS LA BASSE SEINE

PAR MM. SLAWECKI ET PALIER.

M. Slawecki, ingénieur à Rouen, s'étant adressé à M. le directeur du Conservatoire impérial des Arts et Métiers pour se procurer le dynamomètre dont il avait besoin pour réaliser les expériences qu'il projetait de faire sur le remorquage des bateaux, et les résultats de ces expériences nous ayant été communiqués, nous avons pensé qu'il serait intéressant pour les lecteurs des *Annales* de pouvoir consulter les chiffres dont MM. Slawecki et Palier ont ainsi enrichi les données, encore peu nombreuses, relatives aux résistances déterminées par le remorquage. Ces expériences, par les dimensions des navires employés, présentent un réel intérêt.

Ces expériences ont eu lieu les 24, 25 et 26 juillet 1863. Elles avaient pour but de déterminer la puissance de traction, comme remorqueurs, des bateaux n° 1, n° 2 et n° 3 affectés au remorquage entre Rouen et le Havre.

Conditions générales des expériences des 24, 25 *et* 26 *juillet* 1863.

La puissance de traction a été mesurée au moyen du dynamomètre à six lames et à style de M. le général Morin.

Le dynamomètre était installé sur un chaland, à l'extrémité d'un câble d'environ 80 mètres de longueur, qui le reliait au remorqueur soumis à l'épreuve.

Le chaland, indépendamment de sa propre résistance, donnait ensuite la remorque à deux bateaux à vapeur A et B. Ces deux derniers étaient réunis bord à bord, et leurs roues étaient enrayées de manière à les empêcher complétement de tourner.

Les trois bateaux traînés à la remorque avaient les dimensions suivantes :

	BATEAU à vapeur A.	BATEAU à vapeur B.	CHALAND portant le dynamomètre.
Longueur du bateau	43m.38	42m.00	
Largeur au maître couple	5m.84	6m.30	
Tirant d'eau	1m.85	1m.66	
Section plongée au maître couple (approximativement)	9m².65	9m².25	2m².50
Diametre des roues	4m.58	5m.62	
Largeur des roues (longueur des aubes)	2m.03	2m.00	
Hauteur radiale des aubes	0m.75	1m.01	
Nombre d'aubes des roues	10	12	
Surface de deux aubes (une de chaque côté)	3m².045	4m².04	

Les trois bateaux ainsi disposés représentaient, au dire des propriétaires et des capitaines des remorqueurs soumis à l'épreuve, la résistance ordinaire d'un train de navires chargés ensemble de 1000 à 1200 tonneaux.

Courses d'épreuves.

A la descente.

Les courses d'épreuves ont commencé dans le port de Rouen, à la hauteur de la borne kilométrique n° 243; mais les observations n'ont eu lieu qu'à partir de la borne kilométrique n° 258, alors que la vitesse et les autres conditions de bonne marche étaient bien établies.

On a noté les heures des passages :

1° A la borne kilométrique n° 248;

2° A l'embarcadère de Biessard;

3° A l'île (pointe amont) du Val-de-la-Haye, située à 465 mètres en aval de la borne kilométrique n° 252, c'est-à-dire à 4 465 mètres de la borne n° 248;

4° Enfin, au débarcadère de Hautot, situé à 210 mètres en aval de la borne kilométrique n° 256, c'est-à-dire à 8 210 mètres de la borne n° 248, ou à 3 745 mètres de la pointe amont de l'île du Val-de-la-Haye.

Puis on est allé virer à la hauteur de Sahurs, environ 2 kilomètres plus loin, pour ensuite remonter.

A la remonte,

Les courses d'épreuves ont commencé à la hauteur de Sahurs, mais les observations n'ont eu lieu qu'à partir de l'embarcadère de Hautot, alors que la vitesse et les autres conditions de bonne marche étaient bien réglées.

On a noté les heures des passages :

1° A l'embarcadère de Hautot;

2° A la pointe amont de l'île du Val-de-la-Haye, à 3 745 mètres de l'embarcadère de Hautot;

3° A l'embarcadère de Biessard;

4° A la borne kilométrique n° 248, à 4 465 mètres de l'île du Val-de-la-Haye et à 8 210 mètres de l'embarcadère de Hautot.

Puis on a remonté jusqu'à Rouen, sans autre observation.

A chacun des points d'observation, on a pris note, indépendamment du temps écoulé et du chemin parcouru, des efforts transmis par le remorqueur et accusés par le diagramme du dynamomètre, ainsi que de la vitesse de déplacement du bateau par rapport à l'eau, vitesse relevée au moyen du loch des marins.

DIMENSIONS DES BATEAUX REMORQUEURS.

	REMORQUEUR n° 1	REMORQUEUR n° 2	REMORQUEUR n° 3
Longueur du bateau	50m.00	41m.62	48m.00
Largeur au maître couple	5m.75	6m.03	7m.51
Tirant d'eau	1m.415	1m.80	2m.01
Section plongée au maître couple (approximativement)	7m².20	9m².60	13m².40
Diamètre des roues	5m.51	4m.90	6m.24
Largeur des roues (longueur des aubes)	2m.00	1m.75	2m.74
Hauteur des aubes (suivant le rayon)	0m.815	0m.89	1m.01
Nombre des aubes	14	10	12
Surface de deux aubes réunies (une de chaque côté)	3m².260	3m².115	5m².135

Rapports divers entre les dimensions des carènes et celles des appareils de propulsion.

	REMORQUEUR N° 1.	REMORQUEUR N° 2.	REMORQUEUR N° 3.
Rapport entre la largeur du bateau au maître couple et la longueur d'une aube de roue.........	$\frac{5.75}{2.00} = 2.875$	$\frac{6.03}{1.75} = 3.446$	$\frac{7.51}{2.74} = 2.741$
Rapport entre le tirant d'eau au maître couple et la hauteur radiale d'une aube de roue.........	$\frac{1.415}{0.815} = 1.736$	$\frac{1.80}{0.89} = 2,022$	$\frac{2.01}{1.01} = 1.990$
Rapport entre la section plongée au maître couple et la surface d'une aube de roue............	$\frac{7.20}{1.63} = 4.417$	$\frac{9.60}{1.55} = 6.193$	$\frac{13.40}{2.76} = 4.855$
Rapport entre les surfaces de deux aubes (une de chaque côté) et les surfaces des deux pistons des machines motrices...	$\frac{3.2600}{0.8417} = 3.87$	$\frac{3.1150}{0.4752} = 6.55$	$\frac{5.1350}{0.8143} = 6.30$
Rapport entre les vitesses des aubes au centre et les vitesses des pistons.......	$\frac{49.16}{0.893} = 5.505$	$\frac{4.052}{0.837} = 4.841$	$\frac{4.398}{0.857} = 5.131$

DIMENSIONS DES MACHINES MOTRICES ET DES CHAUDIÈRES.

Chaque remorqueur est muni de deux machines oscillantes (système Cavé) à un seul cylindre et à détente variable. Ces machines sont à échappement libre dans les bateaux n° 1 et n° 2, et à condensation dans le bateau n° 3. Elles ont toutes fonctionné, sans détente aucune, dans les expériences dont il est question.

Les générateurs de chaque remorqueur se composent de quatre chaudières cylindriques munies de deux bouilleurs également cylindriques. Leur surface de chauffe a été calculée en

prenant moitié de la surface de la chaudière et la surface entière des bouilleurs.

	REMORQUEUR n° 1	REMORQUEUR n° 2	REMORQUEUR n° 3
Force en chevaux attribuée à chaque remorqueur..........	160ch.	130ch.	160ch.
Diamètre des cylindres.........	0m.732	0m.550	0m.720
Course des pistons.............	1m.34	1m.30	1m.60
Nombre de tours de l'arbre des roues en une minute (régime)..	20t.	19t.3	16t.
Surface des deux pistons réunis.	0m2.8417	0m2.4752	0m2.8143
Déplacement linéaire par minute des pistons..................	53m.60	50m.21	51m.40
Volume engendré par les pistons en une minute...............	45m3.1151	23m3.8600	41m3.8550
Diamètre des chaudières........	0m.80	0m.90	0m.95
Longueur de chaque chaudière..	10m.00	6m.30	10m.00
Diamètre des bouilleurs........	0m.50	0m.45	0m.55
Longueur de chaque bouilleur...	10m.00	6m.45	10m.00
Surface de chauffe totale.......	175m2.92	108m2.97	193m2.13

Les tableaux suivants, dans lesquels on a réuni tous les éléments de chacune des expériences, seront suivis d'un résumé général qui en fait connaître les résultats.

Expériences ayant pour but de déterminer la puissance de

HEURES des OBSERVATIONS.	FAITS OBSERVÉS.	Pression absolue dans les chaudières. P.	Nombre de tours par minute de l'arbre des roues. N.
	REMORQUEUR N° 1. —		
	Descente avec		
		atmos.	tours.
12h.23'	Passage à la borne kilométrique n° 248..........	6.55	20
12h.40'	Passage au débarcadère de Biessard.............	6.55	20
12h.54'	Passage à l'île du Val-de-la-Haye (pointe d'amont)...	6.55	20
1h.18'	Passage au débarcadère de Hautot..............	6.55	20
DURÉE. 55'	Moyennes de la descente..........	6.55	20
	Remonte contre		
2h.11'	Passage au débarcadère de Hautot..........	6.55	20
2h.51'	Passage à l'île du Val-de-la-Haye (pointe d'amont)..	6.55	20
3h.12'	Passage au débarcadère de Biessard.............	6.60	20
3h.39'	Passage à la borne kilométrique n° 248...........	6.55	20
DURÉE. 88'	Moyennes de la remonte..........	6.56	20
DURÉE. 143'	Moyennes de la descente et de la remonte...	6.55	20
	REMORQUEUR N° 2. —		
	Descente avec		
12h.54'	Passage à la borne kilométrique n° 248..........	6.73	19.5
1h.12'	Passage au débarcadère de Biessard.............	6.70	19.5
1h.26'	Passage à l'île du Val-de-la-Haye (pointe d'amont)..	6.75	19.0
1h.54'	Passage au débarcadère de Hautot.............	6.72	19.0
DURÉE. 60'	Moyennes de la descente..........	6.73	19.25

traction en chevaux, des remorqueurs n° 1, n° 2 et n° 3.

Efforts en kilogrammes constatés sur la remorque.	Chemin parcouru en mètres d'un point à un autre par rapport à un point fixe de la rive.	Vitesse de translation par seconde par rapport à un point fixe de la rive.	Indications du loch des marins en nœuds.	Vitesse de translation par seconde par rapport à l'eau du fleuve observée au loch.	FORCE EN CHEVAUX CALCULÉE par le chemin parcouru par rapport à un point fixe de la rive. (Aller et retour compensés.)	FORCE EN CHEVAUX CALCULÉE par les observations faites au loch.
E.	C.	$V. = \frac{C}{m \times 60}$	n.	$U. = n \times 0,514$	$F = \frac{E}{75} \times V.$	$f = \frac{E}{75} \times U.$
24 JUILLET 1863.						
le courant.						
kil.	mèt.	mèt.	n.	mèt.	ch.	ch.
4006	....	....	4.1	2.107	....	....
4134	....	....	4.1	2.107	....	....
4153	4465	2.400	3.9	2.004	....	....
4136	3745	2.600	4.0	2.056	....	....
4107	8210	2.488	4.025	2.069	....	113.30
le courant.						
4066	....	....	4.0	2.056	....	....
4132	3745	1.558	4.0	2.056	....	....
4237	....	....	4.0	2.056	....	....
4098	4465	1.551	4.0	2.056	....	....
4133	8210	1.555	4.0	2.056	....	113.30
4120	16420	2.021	4.012	2.062	111.02	113.26
25 JUILLET 1863.						
le courant.						
3572	....	....	3.9	2.004	....	....
3632	....	....	3.9	2.004	....	....
3632	4465	2.325	3.8	1.953	....	....
3509	3745	2.229	3.8	1.953	....	....
3586	8210	2.280	3.85	1.979	....	94.62

Expériences ayant pour but de déterminer la puissance de

HEURES des OBSERVATIONS.	FAITS OBSERVÉS	Pression absolue dans les chaudières. P.	Nombre de tours par minutes de l'arbre des roues. N.
			Remonte contre
		atmos.	tours.
2h.36'	Passage au débarcadère de Hautot..............	6.25	19.25
3h.20'	Passage à l'île du Val-de-la-Haye (pointe d'amont)..	6.25	19.25
3h.45'	Passage au débarcadère de Biessard.............	6.25	19.00
4h.15'	Passage à la borne kilométrique n° 248..........	6.50	20.00
DURÉE. 99'	Moyennes de la remonte..........	6.31	19.37
DURÉE. 159'	Moyennes de la descente et de la remonte....	6.521	19.312
			REMORQUEUR N° 3. —
			Descente avec
1h.14'	Passage à la borne kilométrique n° 248..........	6.50	16.50
1h.30'	Passage au débarcadère de Biessard.............	6.50	16.50
1h.42'.30"	Passage à l'île du Val-de-la-Haye (pointe d'amont)..	6.65	16.50
2h.6'	Passage au débarcadère de Hautot..............	6.70	16.50
DURÉE. 52'	Moyennes de la descente..........	6.59	16.50
			Remonte contre
2h.46'	Passage au débarcadère de Hautot..............	6.50	16.00
3h.23'	Passage à l'île du Val-de-la-Haye (pointe d'amont)..	6.50	16.00
3h.44'30"	Passage au débarcadère de Biessard.............	6.55	15.50
4h.9'	Passage à la borne kilométrique n° 248..........	6.56	16.00
DURÉE. 83'	Moyennes de la remonte..........	6.53	15.87
DURÉE. 135'	Moyennes de la descente et de la remonte....	6.56	16.18

traction en chevaux, des remorqueurs n° 1, n° 2 et n° 3. (SUITE.)

Efforts en kilogrammes constatés sur la remorque.	Chemin parcouru par mètres d'un point à un autre en rapport à un point fixe de la rive.	Vitesse de translation par seconde par rapport à un point fixe de la rive.	Indications du loch des marins en nœuds.	Vitesse de translation par seconde par rapport à l'eau du fleuve observée au loch.	FORCE EN CHEVAUX CALCULÉE par le chemin parcouru par rapport à un point fixe de la rive. (Aller et retour compensés.)	par les observations faites au loch.
E.	C.	V. = $= \frac{C}{m \times 60}$	n.	U. = $= n \times 0{,}514$	F = $= \frac{E}{75} \times V.$	f = $= \frac{E}{75} \times U.$
le courant.						
kil.	mèt.	mèt.	n.	mèt.	ch.	ch.
3557	....	....	3.9	2.004	....	....
3405	3745	1.418	3.6	1.850	....	....
3434	....	....	3.6	1.850	....	....
3352	4465	1.358	3.6	1.850	....	....
3437	TOTAL 8210	1.382	3.675	1.889	....	86.56
3511	TOTAL 16420	1.831	3.763	1.934	85.71	90.53
26 JUILLET 1863.						
le courant.						
4325	....	....	4.0	2.056	....	....
4528	....	....	3.9	2.004	....	....
4430	4465	2.610	3.9	2.004	....	....
.4451	3745	2.656	3.9	2.004	....	....
4433	TOTAL 8210	2.631	3.925	2.017	....	119.19
le courant.						
4409	....	....	3.9	2.004	....	....
4351	3745	1.687	4.0	2.056	....	....
4389	....	....	4.0	2.056	....	....
4435	4465	1.618	4.0	2.056	....	....
4421	TOTAL 8210	1.648	3.975	2.043	....	120.42
4427	TOTAL 16420	2.139	3.95	2.030	126.25	119.82

Les résultats consignés dans le tableau général méritent d'être signalés :

Le recul ou le rapport $\frac{u - V}{V}$ a varié d'un bateau à l'autre, et l'on remarquera même d'assez grandes différences à cet égard, puisque, pour le remorqueur numéro 1, ce rapport est exprimé par 1.432 et que la valeur correspondante, pour le remorqueur numéro 3, est réduite à 1.056.

Ce troisième remorqueur a perdu par le recul $148^{ch},11$, tandis que le remorqueur numéro 2 n'a perdu que $111^{ch},59$.

Enfin le rendement de chacun d'eux, c'est-à-dire le rapport entre le travail transmis et utilisé par le remorquage, au travail réellement développé sur l'arbre des roues, est représenté par les coefficients 0.411, 0.451 et 0.486 pour ces trois remorqueurs.

Pour aucun d'eux l'effet utile n'a atteint 0.500, c'est-à-dire que le remorqueur a toujours dépensé plus de la moitié de son travail pour se transporter lui-même.

Ces indications suffisent pour caractériser les conditions économiques du remorquage, dans les cas analogues à ceux dans lesquels MM. Slawecki et Palier ont exécuté leurs expériences.

L'effort de traction s'est élevé à près de 5000 kilogrammes. C'est au reste le même dynamomètre qui avait été employé dans les expériences faites en service courant sur la traction des véhicules du chemin de fer du Nord. Il peut enregistrer les efforts transmis jusqu'à 6000 kilogrammes.

RÉSULTATS DÉDUITS DES EXPÉRIENCES QUI PRÉCÈDENT.

	REMORQUEUR N° 1.		REMORQUEUR N° 2.		REMORQUEUR N° 3.	
	FORMULES.	RÉSULTATS.	FORMULES.	RÉSULTATS.	FORMULES.	RÉSULTATS.
Rapport entre le rayon extérieur d'une roue et la hauteur radiale d'une aube.	$\frac{2,755}{0,815}$ .... =	3,380	$\frac{2,45}{0,89}$ .... =	2,752	$\frac{3,12}{1,01}$ .... =	3,089
Rapport entre le diamètre extérieur d'une roue et la longueur d'une aube.......	$\frac{5,51}{2,00}$ .... =	2,755	$\frac{4,90}{1,75}$ .... =	2,800	$\frac{6,24}{2,74}$ .... =	2,277
Résistances relatives ou surfaces relatives de la carène et des propulseurs $\frac{S}{s}$....	$\frac{7,20}{3,26}$ .... =	2,208	$\frac{9,60}{3,115}$ .... =	3,081	$\frac{13,40}{5,535}$ .... =	2,421
Différence entre la vitesse des roues au centre des aubes et celle du bateau, par seconde $u-V$..................	$4^m,916 - 2^m,021$ =	$2^m,895$	$4^m,052 - 1^m,831$ =	$2^m,221$	$4^m,398 - 2^m,139$ =	$2^m,259$
Valeur du recul ou rapport entre la différence ci-dessus et la vitesse du bateau $\frac{u-V}{V}$..........................	$\frac{2,895}{2,021}$ .... =	1,432	$\frac{2,221}{1,831}$ .... =	1,213	$\frac{2,259}{2,139}$ .... =	1,056
Résistance de la carène au sillage constaté $R = K \times S \times V^2$ $(K = 8^k)$..............	$8 \times 7,20 \times (2,021)^2$ =	$235^k,24$	$8 \times 9,60 \times (1,831)^2$ =	$257^k,43$	$8 \times 13,40 \times (2,139)^2$ =	$490^k,44$
Force en chevaux absorbée par la carène seule, au sillage constaté............	$\frac{235 \times 2,021}{75}$.. =	$6^{ch},33$	$\frac{257 \times 1,831}{75}$.. =	$6^{ch},27$	$\frac{490 \times 2,139}{75}$.. =	$13^{ch},97$
Force absorbée par la carène et la charge remorquée au sillage constaté, ensemble	$111^{ch},02 + 6^{ch},33$ =	$117^{ch},35$	$85^{ch},71 + 6^{ch},27$ =	$91^{ch},98$	$126^{ch},25 + 13^{ch},97$ =	$140^{ch},22$
Résistance totale vaincue par les roues de propulsion, au sillage constaté......	$4121^k + 235^k$ .. =	4356^k	$3511^k + 257^k$.. =	3768^k	$4427^k + 490^k$... =	4917^k
Force développée par les roues de propulsion, au sillage constaté..........	$\frac{4356 \times 4,916}{75}$.. =	$285^{ch},52$	$\frac{3768 \times 4,052}{75}$.. =	$203^{ch},57$	$\frac{4917 \times 4,398}{75}$.. =	$288^{ch},33$
Force perdue par l'effet du recul, au sillage constaté..........................	$285^{ch},52 - 117^{ch},35$ =	$168^{ch},17$	$203^{ch},57 - 91^{ch},98$ =	$111^{ch},59$	$288^{ch},33 - 140^{ch},22$ =	$148^{ch},11$
Rendement des roues ou rapport de l'effet utile à la force développée par les roues.	$\frac{117,35}{285,52}$ .... =	0,411	$\frac{91,98}{203,57}$ .... =	0,451	$\frac{140,22}{288,33}$ .... =	0,486

NOTE

SUR LES

CHEMINÉES VENTILATRICES

PAR M. LE GÉNÉRAL MORIN.

Expériences de 1865 sur une cheminée ventilatrice. Les résultats favorables obtenus en 1864, avec la cheminée ventilatrice du modèle de M. le capitaine Douglas Dalton, m'ont engagé à en faire établir une de ce genre dans la nouvelle salle du conseil de perfectionnement du Conservatoire des Arts et Métiers, en apportant quelques modifications aux proportions précédentes.

Afin d'augmenter le volume d'air nouveau introduit et d'en renfermer la température dans des limites convenables, j'ai successivement fait augmenter la section du conduit qui amène cet air derrière la cheminée pour le verser vers le plafond, et je dirai de suite que je ne crois pas encore avoir atteint complétement la proportion convenable, qui me paraît devoir dans tous les cas être telle, que la section libre de passage pour l'introduction de l'air nouveau soit au moins égale à celle du tuyau de fumée. Quoique les proportions employées dans les expériences dont il va être rendu compte ne soient donc probablement pas encore les meilleures qu'il convienne d'adopter, les résultats sont cependant assez favorables pour qu'il soit permis d'en conclure que les cheminées ainsi disposées sont bien préférables à celles de la construction ordinaire, et qu'il soit possible de déterminer le rapport de la quantité de chaleur introduite par l'air nouveau à celle que développe un combustible et par suite ce que l'on peut appeler le rendement calorifique de l'appareil.

La cheminée essayée en 1865 a les dimensions suivantes :

Largeur au fond $0^m,44$, largeur en avant $0^m,67$;

Profondeur $0^m,25$. La grille est légèrement cintrée en avant et sa surface totale $= 0^{mq},1586$. La partie qu'on appelle le contrecœur et les côtés sont garnis de briques réfractaires.

Le tuyau de fumée a la forme elliptique et ses axes sont égaux à $0^m,38$ et à $0^m,20$, ce qui correspond à une section de passage de $0^{mq},05966$, soit $0^{mq},06$ et à un contour de $0^m,91$ environ.

L'air nouveau, qui doit être échauffé, est pris dans la cave par un orifice qui, dans la première série d'expériences des 16, 17 et 18 février 1865, n'avait que $0^m,30$ sur $0^m,17$ de passage, ou une section de $0^m,0510$ insuffisante.

Dans cette première série d'expériences, le conduit vertical dans lequel circule et s'échauffe l'air nouveau a eu $0^m,47$ sur $0^m,35$, ce qui correspondait à une section libre de $0^{mq},1645$. La section extérieure du tuyau de fumée en fonte, d'une épaisseur de $0^m,005$, étant égale à $0^{mq},0643$, l'aire libre de passage pour l'air nouveau était égale à $0^{mq},1645 - 0^{mq},0643 = 0^{mq},10$. Cette section trop faible a été pour la deuxième série portée à $0^{mq},12$.

La hauteur du tuyau de fumée dans le conduit d'air nouveau est d'environ $5^m,50$, et sa surface de chauffe est de $0^m,91 \times 5^m,50 = 5^{mq},00$, à quoi il faudrait ajouter à peu près $1^{mq},20$ pour la surface postérieure de la cheminée. Mais comme l'intérieur et le foyer sont garnis de briques réfractaires qui sont peu conductrices de la chaleur, il sera prudent de ne compter que sur la surface du tuyau pour échauffer l'air. L'on remarquera que la surface de ce tuyau est d'environ trente et une fois la surface totale de la grille égale à $0^{mq},1586$.

Vers le haut du conduit le tuyau de fumée en fonte prend la forme cylindrique pour se raccorder avec le conduit en maçonnerie qui a $0^m,25$ de diamètre et $0^{mq},0491$ de section.

L'orifice garni de directrices inclinées par lequel l'air nouveau débouche vers le plafond a $0^m,72$ de longueur, et offre $0^{mq},12$ de passage libre pour l'admission de cet air.

La capacité totale de la salle du conseil est de 270 mètres cubes. A l'époque où les expériences ont été faites, le bâtiment n'était pas achevé, le plancher n'était pas posé, il n'y avait que des portes provisoires; les murs avaient été refroidis par la durée de l'hiver

et la salle ne contenait aucun meuble. Les circonstances étaient donc très-défavorables pour l'échauffement intérieur ; mais ce qu'il importait surtout de constater, c'étaient les effets calorifiques que la cheminée pouvait produire.

Les résultats des observations sont consignés dans le tableau suivant :

Expériences sur la cheminée ventilatrice de la salle du conseil du Conservatoire des Arts et Métiers.

DATES.	TEMPÉRATURE extérieure.	TEMPÉRATURE de la salle.	TEMPÉRATURE de l'air introduit.	TEMPÉRATURE de l'air évacué.	Volume d'air évacué par heure.	Chaleur emportée par l'air.	Volume d'air introduit par heure.	Chaleur introduite.	Rapport du volume d'air introduit au volume évacué.	Rapport de la chaleur introduite à la chaleur emportée.	Combustible brûlé par heure.	Chaleur dépensée.	Rapport de la chaleur introduite à la chaleur dépensée.	Rapport moyen.	Vitesse dans le tuyau supérieur de fumée en 1".	Vitesse dans le conduit elliptique.	Vitesse dans le conduit d'introduction de l'air nouveau.	Volume d'air évacué par kil. de charbon brûlé.	Volume d'air introduit par kil. de charbon brûlé.
1re SÉRIE.					mc.	cal.	mc.	cal.				cal.				m.	Section de passage de l'air nouveau 0.10.	mc.	mc.
16 févr...	−2 à +3°	10 à 12°	45°	116 à 140°	891	30882	640	8154	0.72	0.26	4.50	38036	0.226		5.28	»		178	142
17 id.	+3.5 à 6	7 à 9	32	78	655	13689	432	3408	0.66	0.25	2.27	18178	0.188	0.220	3.64	»	»	288	190
18 id.	+ 5	14	52.8	110	840	23495	544	7826	0.65	0.33	4.76	38318	0.205		4.66	»		176	114
									0.68	0.28									
2e SÉRIE.																	Section de passage de l'air nouveau 0.12.		
14 mars..	+ 4	15.6	37.4	100	804	19770	753	7628	0.936	0.39	4.00	32030	0.238			3.70	1.74	201	188
15 id.	+ 4	14.0	32.0	95	812	19074	761	6456	0.930	0.34	3.55	28428	0.227	0.229	4.44	3.75	1.76	229	214
21 id.	+ 0	10.0	31	91.8	785	19017	654	6284	0.833	0.33	3.55	28428	0.221			3.63	1.54	220	184
			33.6	95.6	800	19287		6789	0.899		3.70	29628				3.70	1.67		

La chaleur développée par kil. de houille de Charleroi est estimée à 8000 calories. La quantité de houille brûlée par heure et par mètre carré de grille a été de 25 kil. environ.

Conséquences des résultats précédents. Rendement calorifique de la cheminée. Dans la seconde série d'expériences où les proportions données au conduit d'air nouveau étaient, comme on le verra tout à l'heure, les plus convenables, la quantité de chaleur emportée par la fumée en une heure était égale à 19287 calories.

Celle qui avait été développée par le combustible était de . . . . 29628 »

La différence . . . . 10341 calories

représente la chaleur qui a été utilisée tant pour l'admission et l'échauffement de l'air nouveau que par le rayonnement.

Elle constitue le rendement calorifique de l'appareil et s'élève à $\frac{10341}{29628} = 0,349$ de la chaleur développée par le combustible.

D'une autre part l'on remarquera que dans cette cheminée, qui se trouve presque entièrement isolée de la maçonnerie, la chaleur qui en traverse les parois est utilisée en très-grande partie à échauffer l'air qui circule en arrière, et que d'ailleurs elle a, comme les cheminées ordinaires, la propriété de chauffer par rayonnement. Toute la chaleur correspondant à l'air qu'elle introduit, et qui s'élève à 0,23 de celle qui est développée par le combustible, est donc un effet calorifique à ajouter à celui d'une cheminée ordinaire.

Or nous avons trouvé par des expériences directes[1] que dans les cheminées ordinaires les sept huitièmes de la chaleur développée par le combustible ne sont employés qu'à produire leur tirage et la ventilation des appartements, et qu'un huitième seulement ou 0,125 sont utilisés au chauffage.

Par conséquent, en ajoutant le rendement calorifique correspondant à l'introduction de l'air, qui est de 0,23, à l'effet calorifique du rayonnement qui doit encore être le même pour cette cheminée que pour les autres, soit 0,125

on trouve pour son rendement calorifique total 0,355

1. *Études sur la ventilation*, 1er vol., pages 309 et suiv.

quantité triple du rendement d'une cheminée ordinaire et qu'on pourrait peut-être encore améliorer.

Répartition des températures à diverses reprises dans la salle. La circulation continue que le renouvellement de l'air produit dans la salle a, comme je l'ai signalé lors des premières expériences que j'ai faites en 1864, l'avantage d'établir, dans les salles chauffées par les cheminées de ce genre, une uniformité presque parfaite de température que ne troublent pas des arrivées d'air froid par les portes et par les fenêtres, comme on l'observe avec les cheminées ordinaires, qui ne sont alimentées que par de l'air pris le plus souvent à l'extérieur.

Les résultats d'observation consignés dans le tableau suivant manifestent cette régularité.

Les thermomètres étaient placés à 7^{m},00 de la cheminée et à l'abri du rayonnement du foyer.

Observation des températures à différentes hauteurs dans une salle chauffée par la cheminée ventilatrice.

HEURES.	Température de l'air affluent pris du plafond.	TEMPÉRATURES DANS LA SALLE. Hauteurs des thermomètres au-dessus du sol.					
		0^{m}.50	1^{m}.50	2^{m}.20	3^{m}.35	4^{m}.00	5^{m}.15
h. m.	degrés.	degrés.	degrés.	degrés.	degrés.	degrés.	degrés.
10 10	26.5	16.5	16.8	15.0	16.8	17.0	17.3
10 55	28.5	18.0	17.3	16.6	18.3	18.0	19.0
11 30	30.0	18.8	18.5	17.6	19.2	19.0	20.0
12 15	33.0	19.0	19.3	18.5	20.1	20.0	21.0
1 15	35.0	19.5	19.2	19.2	20.8	20.6	21.7
2 15	32.0	19.0	19.6	19.0	21.2	21.5	22.0
3 10	33.0	19.6	20.0	19.6	21.5	21.8	22.4
4 10	30.5	19.2	20.0	19.7	21.4	21.2	22.2
4 40	28.0	19.0	20.0	19.5	21.5	21.5	22.4
6 25	28.0	18.5	19.5	19.0	20.7	20.7	21.6
8 10	26.0	18.0	18.9	18.1	20.0	20.0	20.6
Moyennes.	30.0	18.65	18.96	18.34	20.15	20.07	20.93

L'on voit par ces observations que, pendant toute une journée, la température près du plafond n'a surpassé celle qui avait lieu

à $0^m,50$ du plancher que de $2°,22$ en moyenne, malgré l'affluence continue d'un volume considérable d'air arrivant à une température moyenne de 30° à la partie supérieure de la salle.

Un thermomètre placé à $2^m,50$ de distance du foyer et à $0^m,75$ au-dessus du plancher, et par conséquent exposé au rayonnement direct, indiquait une température qui s'est élevée à 30°, alors qu'un autre tenu à l'abri du rayonnement et à $7^m,00$ de la cheminée ne marquait, à la même hauteur que 19°,6' : ce qui, sans fournir une mesure des effets calorifiques du rayonnement, donne cependant une indication de l'échauffement qu'il peut produire sur les corps qui y sont exposés.

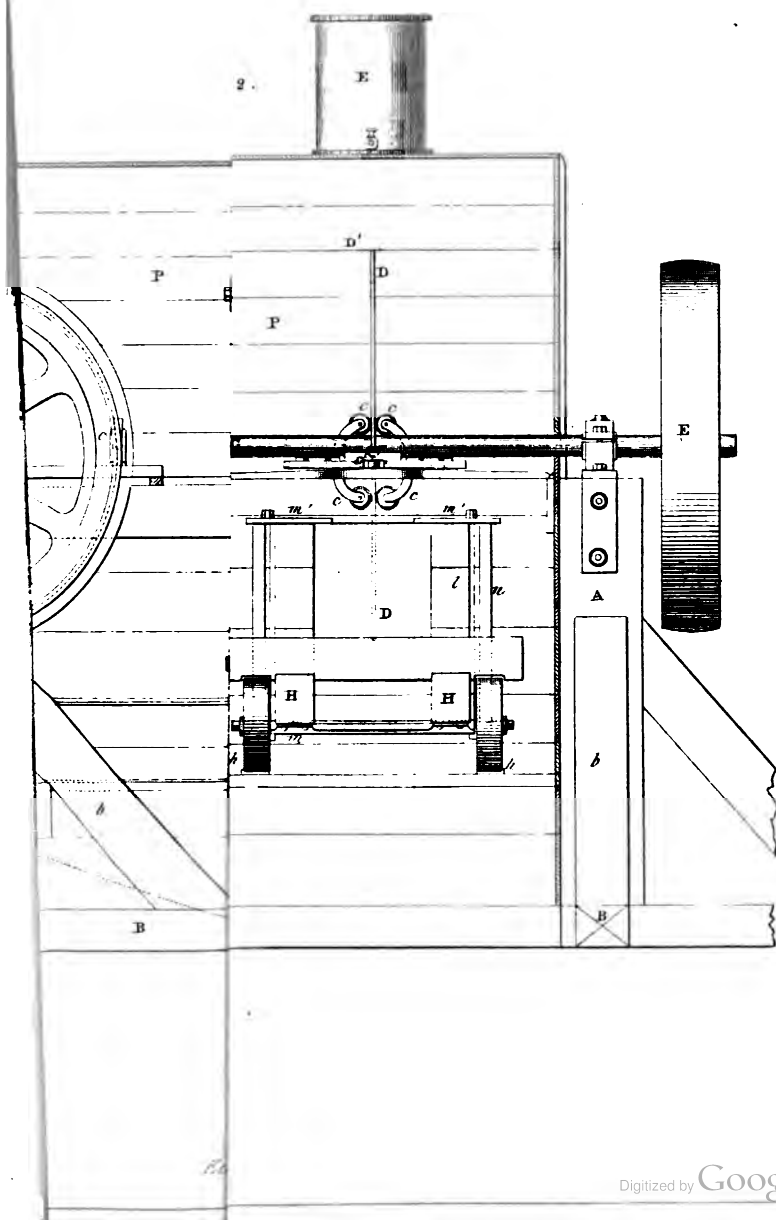
Effets de ventilation. Les première et troisième expériences de la première série, où le passage libre de l'air nouveau autour du tuyau de fumée n'était que de $0^{mq},10$ et où la consommation de combustible par heure s'est élevée à $4^k,50$ et à $4^k,76$, ont fourni des volumes d'air nouveau de 640^{mc} et de 544^{mc} par heure à des températures de 45° et de 52°,8. Le rendement calorifique de l'appareil correspondant à cette introduction a été de 0,22.

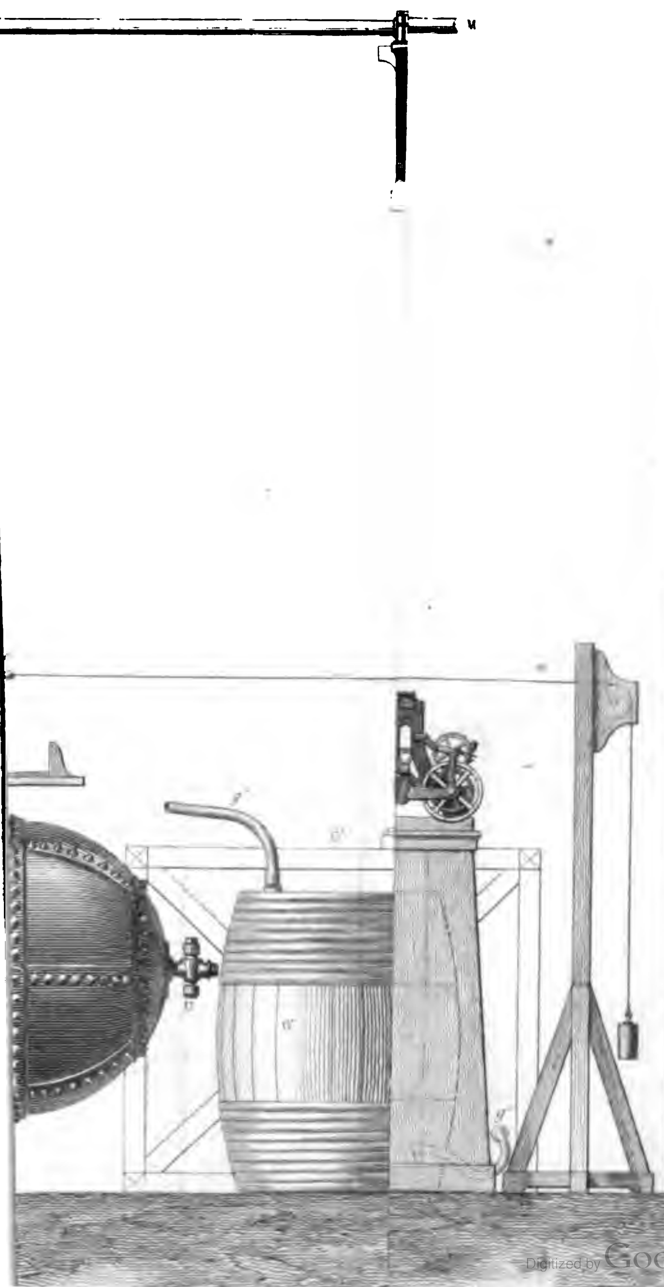
Mais les températures de 45° et de 52°,8 de l'air affluent paraissent plus élevées qu'il n'est nécessaire. D'une autre part, ces volumes d'air nouveau introduit dans ces deux expériences ne se sont élevés qu'à 0,76 et 0,65 du volume d'air évacué par la cheminée. Par conséquent, les volumes d'air extérieur et froid introduit par l'appel de la cheminée ont donc été de 0,24 et 0,35 du volume d'air évacué.

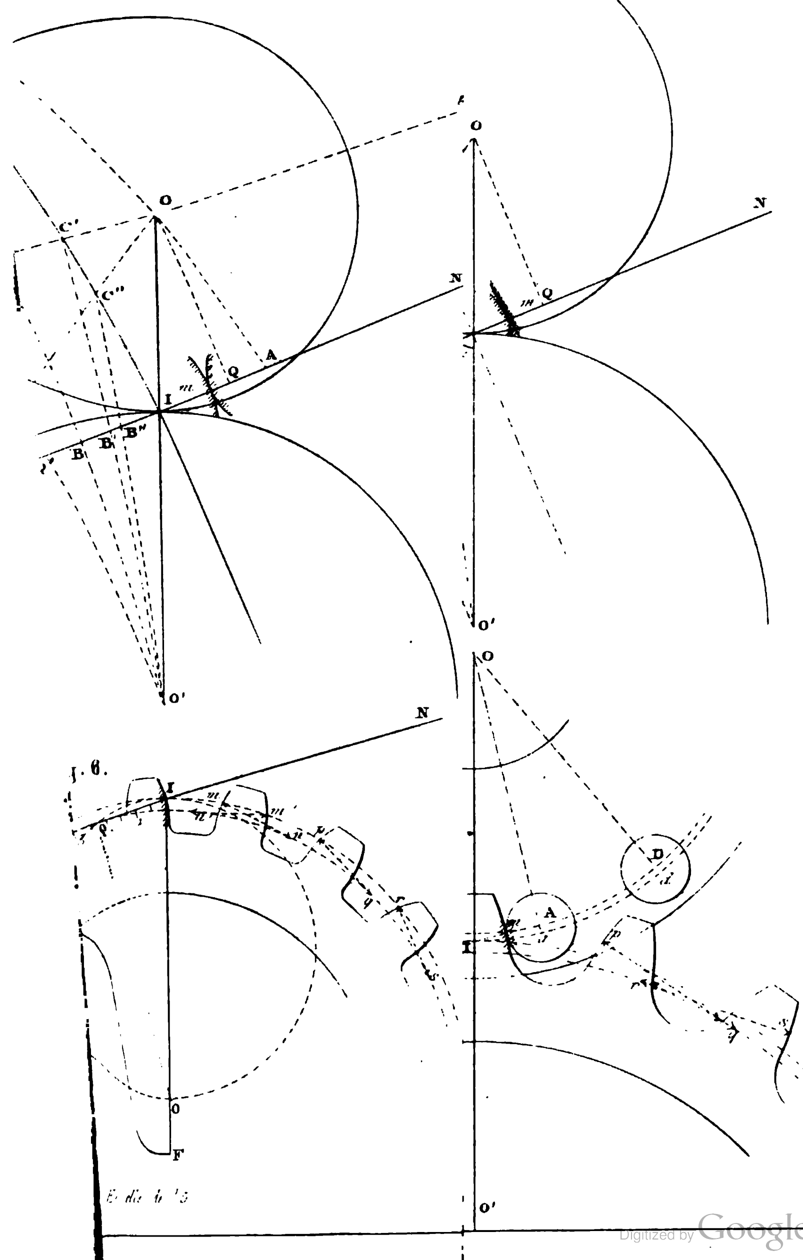
Dans la seconde série d'expériences, la section de passage de l'air nouveau autour du tuyau de fumée ayant été augmentée et portée à $0^{mq},12$, les volumes d'air nouveau introduit ont été de 753^{mc}, 761^{mc}, 654^{mc} par heure à des températures modérées de 37°,4, 32°,0, 31°,4.

Le rapport de ces volumes à ceux de l'air extrait a été respectivement de 0,936, 0,930, 0,833 ou, en moyenne, de 0,899; de sorte que dans cette série le volume d'air froid introduit par les portes et les fenêtres a été réduit à très-peu près au dixième du volume d'air appelé par la cheminée : ce qui constitue un avantage notable dû à l'accroissement du passage ménagé à l'air nouveau.

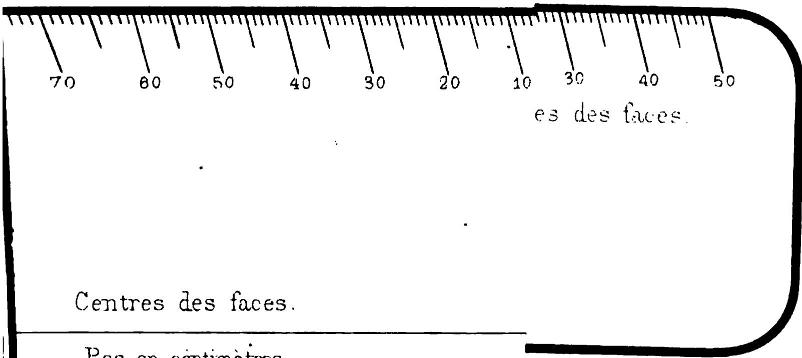
Le volume d'air évacué par heure s'étant élevé en moyenne à


2.
E
D'
D
P
P
c
c
c
c
E
m
m
m'
m'
l
m
D
A
H
H
m
h
h
b
b
B
B



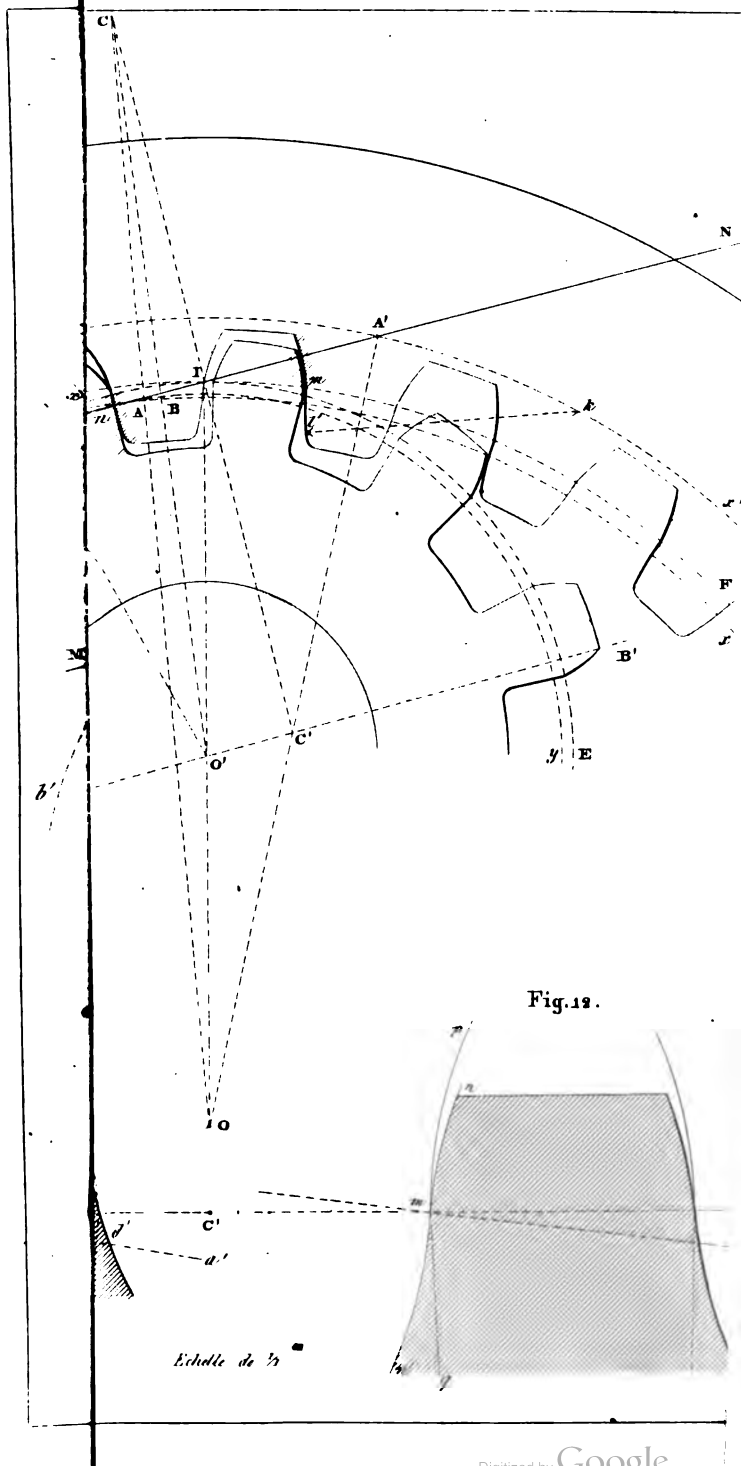

Fig. 4.
g. 5.
O
N
C'
C''
A
Q
m
I
B
B'
B''
O'
N
Q
m
O'
O
N
g. 6.
I
m
n
m'
n'
p
q
r
s
O
F
A
D
d
I
p
r
q
s
O'

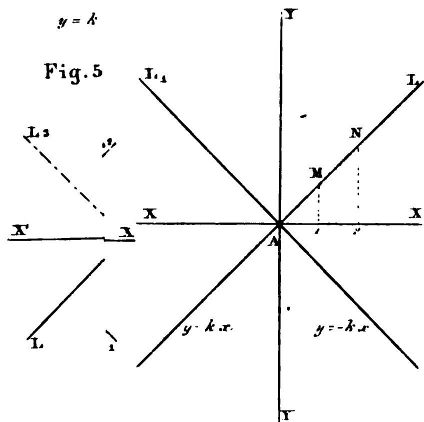
trait fort constitue l'instrument usuel.

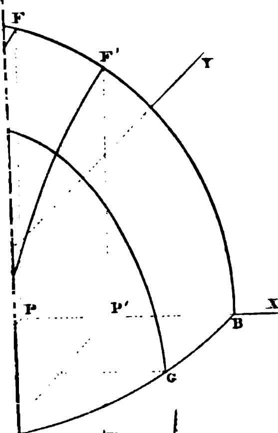


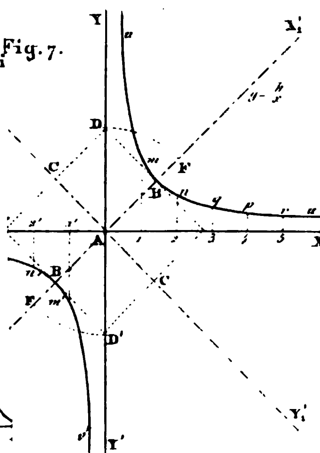
Pas en centimètres.						
2.5	3	4	5	6	7	8
6	7	10	12	15	17	2
7	7	11	14	17	19	2
7.5	8	12	15	18	22	2
9	10.5	14	18	21	25	[illegible]
9.5	11	15	19	23	27	[illegible]
10	12	16	21	25	29	[illegible]
11	13	17	22	26	30	
11	13.5	18	22	27	31	
11.5	14	18	23	28	32	
12	15	20	25	30	35	

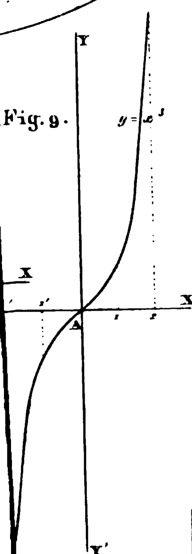
marqués d'un astérisque sur le tableau initial
ui dépassent la longueur de l'échelle sont assez
la pratique. On peut même, sans inconvénient, pren
lignes droites dirigées vers le centre de la roue.

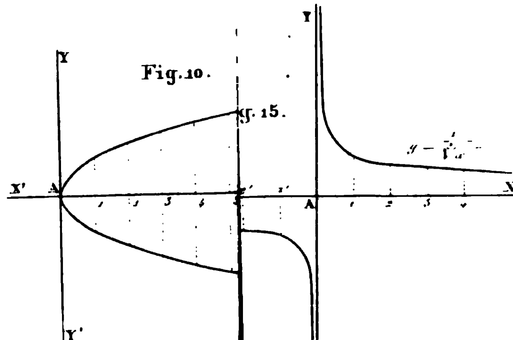

C
N
A'
I
m
k
n
A
B
l
x'
F
x
M
B'
C'
y
E
O'
b'
Fig. 12.
O
n
m
C'
d'
d'
Echelle de 1/2
q

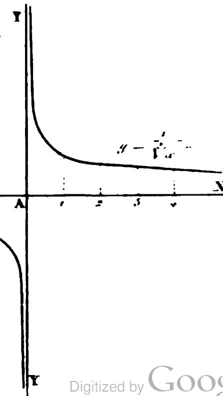

Fig. 6.
Fig. 5
y = k
y = kx
y = -kx

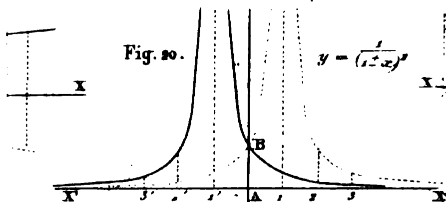


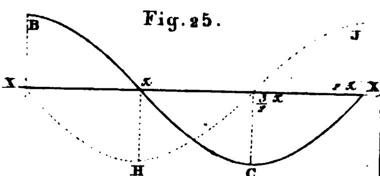

Fig. 7.

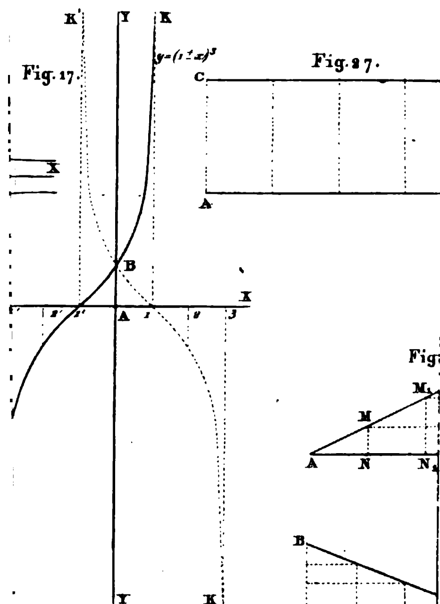

Fig. 9.

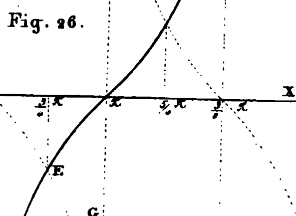

Fig. 10.

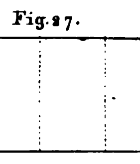

Fig. 15.

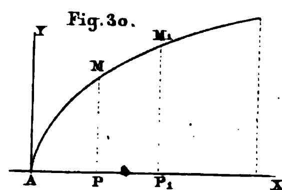

Fig. 20.
X
B
X'
A
X

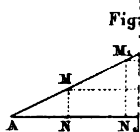

Fig. 25.
B
X
H
C
X

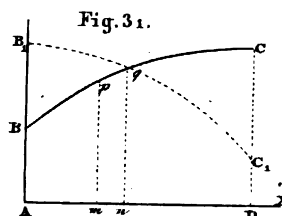

Fig. 17.
K'
Y
K
B
A
X
Y
K

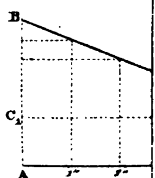

Fig. 26.
X
E
G

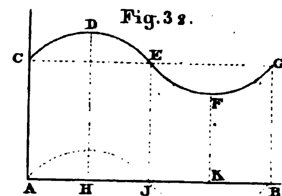

Fig. 27.
C
A

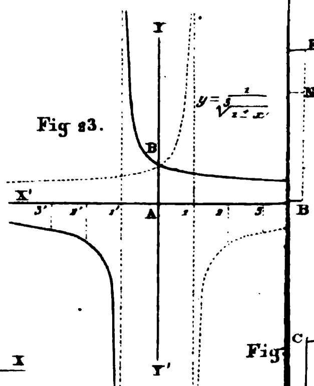

Fig. 30.
Y
M
A
P
X

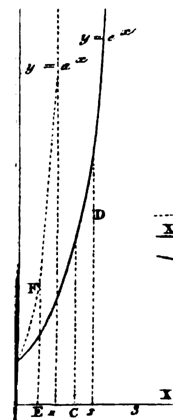

Fig
M
A
N

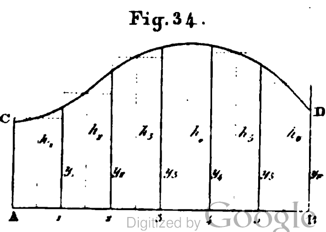

Fig. 31.
B
C
B
A
D
X


B
A

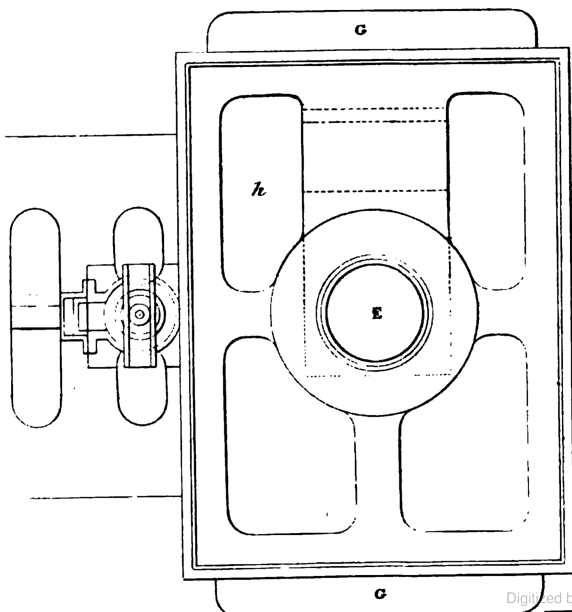

Fig. 32.
D
C
E
G
F
K
A
H
J
B

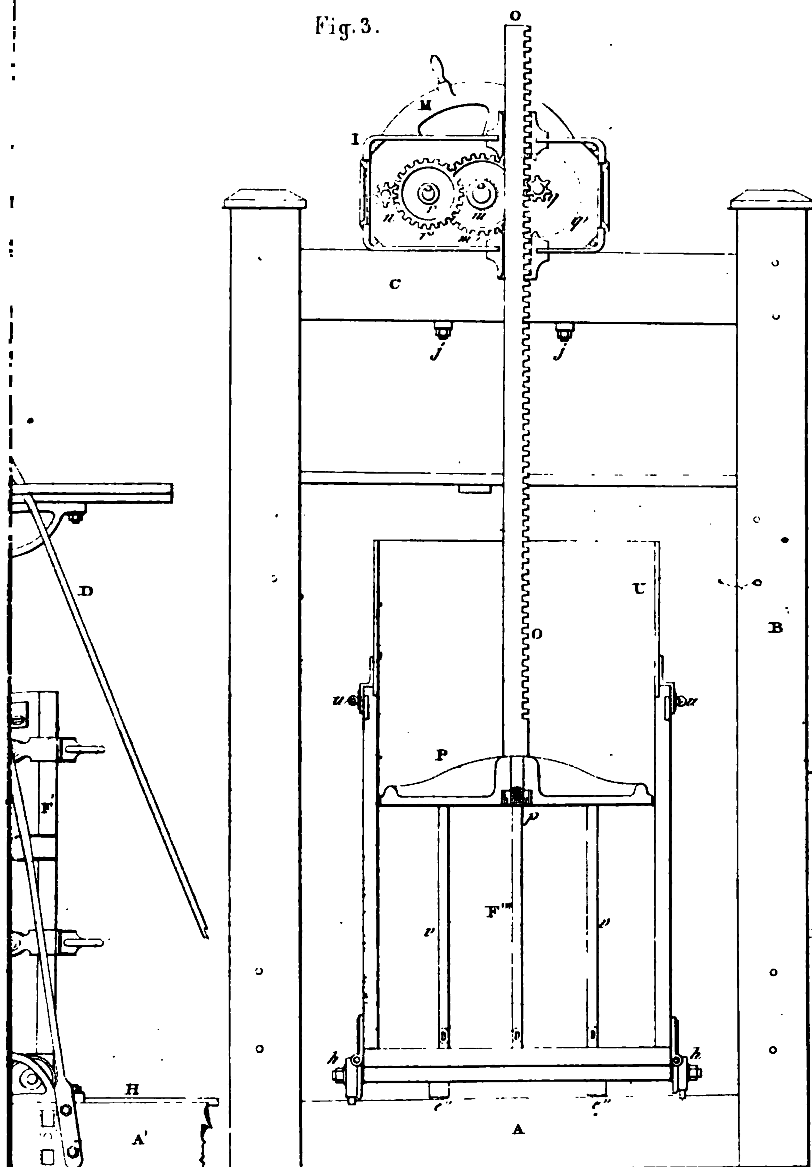

Fig 23.
Y
B
X'
A
B
Y'
E
N

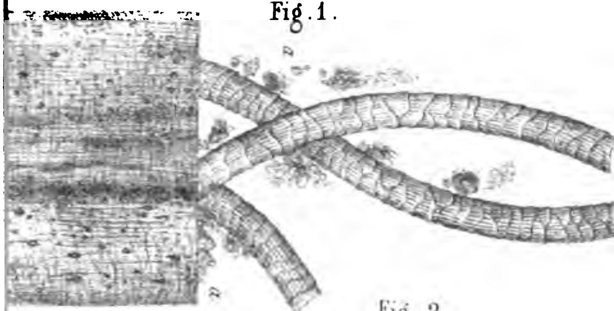

D
F
X
E
C


Fig. 34.
Fig
C
D
A

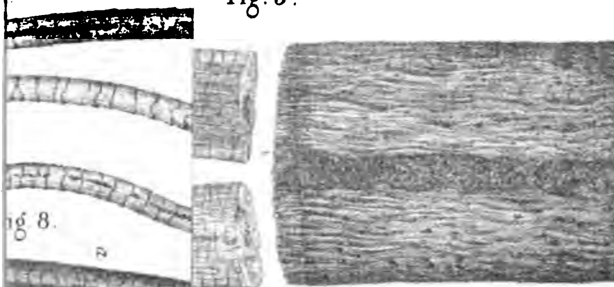
O
n_2
E
L
l
h
F_1
F
F_2
Q
M
H'
f
H
A

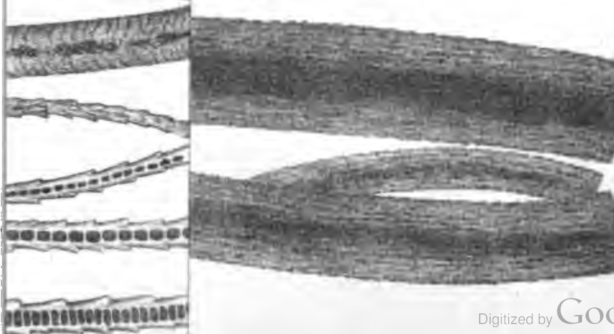



Fig. 3.
O
M
I
C
j
j
D
U
O
B
u
u
P
p
F'
F'''
v
v
h
h
H
A'
A
Échelle 0,04.


Fig. 1.
Fig. 2.
ig. 6.




g. 9.
Fig. 3.
ig. 8.


Fig. 4.

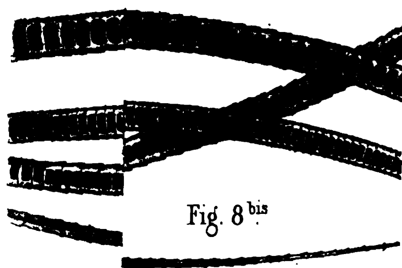


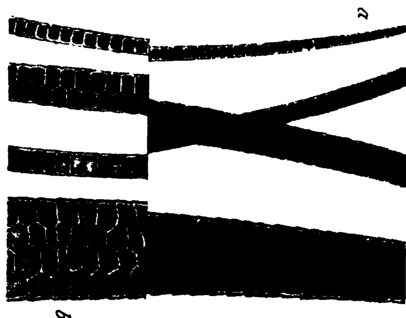
Fig. 8 bis

17.

Fig. 18.



Fig. 25.



2.

Fig. 21.

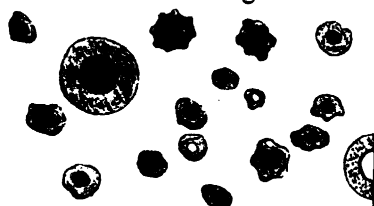
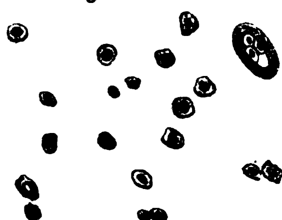


Fig. 20.



P. Lackerbauer lith.

800^{mc} et la capacité de la salle étant de 270^{mc}, l'on voit que l'air y a été renouvelé 2,96 ou à peu près trois fois par heure.

Ce volume de 800^{mc} suffirait pour le renouvellement de l'air dans une salle de dix lits de malades à raison de 80^{mc} par heure et par lit, et si la salle était proportionnée de manière qu'à chaque lit correspondît un espace cubique de 50^{mc}, ou eût une capacité totale de 500^{mc}, l'air y serait renouvelé par la seule action de la cheminée 1,6 fois par heure.

Mais il ne faut pas perdre de vue que ce foyer unique d'appel, analogue à ceux de quelques hôpitaux d'Angleterre, et en particulier à ce qui est en usage à Glascow, aurait l'inconvénient d'attirer autour des malades qui en approcheraient tout l'air vicié de la salle.

L'on remarquera que, dans les expériences de la seconde série, la température de l'air évacué s'est élevée en moyenne à 95°,6. Cette température déterminait dans le conduit elliptique de fumée une vitesse moyenne de 3^{m},80 en 1″ et dans le tuyau supérieur une vitesse de 4^{m},51 : ce qui est plus que suffisant pour assurer un bon tirage.

Dès lors il paraît évident qu'il y aurait avantage à accroître la section de la partie elliptique du tuyau de fumée et par suite sa surface de chauffe, ce qui permettrait d'enlever à cette fumée une plus grande partie de sa chaleur et par conséquent d'introduire, par l'appel qu'elle occasionnerait, un plus grand volume d'air nouveau à une température peu différente de celle obtenue: ce qui n'empêcherait pas de laisser à la partie du tuyau supérieure au plafond un diamètre moindre pour conserver au tirage son activité.

Nous reviendrons plus loin sur cette modification en parlant des proportions à adopter pour ce genre de cheminées.

Rapport des volumes d'air admis et évacués. Il convient aussi de faire remarquer que le volume d'air introduit à une température moyenne de 33°,6, et pris extérieurement à des températures comprises entre 0° et 4°, s'est élevé à 0,899 du volume d'air extrait de la salle, où il avait une température comprise entre 10° et 15°,6, ce qui annulait presque entièrement l'appel qui eût pu être fait par les portes. Aussi, en présentant aux joints de ces portes provisoires, mal closes, une bougie allumée,

n'indiquait-elle presque nulle part l'introduction d'un courant d'air froid.

Proportions à adopter pour les cheminées ventilatrices. L'on a vu précédemment que, dans les expériences de la seconde série, la vitesse moyenne de l'air évacué avait été de $3^m,70$ et qu'il y aurait avantage à la diminuer, en augmentant la section et par suite la surface de chauffe du conduit de fumée dans la partie qui est contenue dans la gaîne que parcourt l'air nouveau. En réduisant cette vitesse à $2^m,60$ ou $2^m,70$, ce qui a été la vitesse observée dans la cheminée anglaise essayée en 1864 et ce qui a toujours suffi à un bon tirage, on pourra obtenir avec un feu modéré l'évacuation de 400^{mc} d'air par kilogramme de charbon brûlé, comme on l'a trouvé avec cette cheminée. D'une autre part, la vitesse de passage de l'air nouveau dans le conduit qui lui est réservé devant être de $1^m,50$ au moins, ces bases suffiront pour déterminer les proportions à donner aux différentes parties.

Le foyer aura la forme d'un trapèze, la grille rectangulaire en fer reposera aux deux extrémités sur des massifs en briques réfractaires qui laisseront pour cette grille un espace libre d'un tiers environ de la surface du foyer; cependant, comme il est nécessaire de disposer sur le devant du foyer un grillage pour contenir le charbon, il passera aussi de l'air entre les barreaux.

Dans ces conditions on brûlera facilement 60 kil. de houille par mètre carré de la surface totale de la grille.

Par conséquent, si l'on veut faire évacuer par heure un volume d'air Q^{mc}, soit, par exemple, 1000^{mc}, il faudra brûler $\frac{Q}{400} = \frac{1000}{400} = 2^k,50$ de houille et donner à la grille une superficie $\frac{Q}{400 \times 60} = S = 0^{mq},0416$. Le foyer entier aura environ une surface $3S = 0^{mq},12$ à $0^{mq},15$.

L'évacuation de $Q^{mc} = 1000^{mc}$ par heure correspondant à $\frac{Q}{3600} = Q' = 0^{mc},277$ en $1''$ et la vitesse de passage devant être d'environ $2^m,70$ en $1''$, la section transversale à donner au tuyau de fumée sera égale à $\frac{Q}{3600 \times 2,70} = \frac{0^{mc},277}{2^m,70} = 0^{mq},10$. S'il a la

forme elliptique, ce qui convient souvent pour diminuer la saillie de la cheminée, on fera son grand axe a égal à deux fois le petit axe b, et l'on aura pour déterminer le grand axe la relation

$$\frac{0,7854 \times a^2}{2} = 0,3927\, a^2 = 0^{mq},10 = \frac{Q}{2,70}$$

$$\text{ou } a = 0^m,505 \text{ et } b = 0^m,252$$

Le contour extérieur de ce tuyau en fonte, dont l'épaisseur peut être supposée égale à $0^m,005$, sera approximativement $3,14\left(\frac{a+b}{2}\right) = 2,35\, a = 1^m.19$.

Si la salle a une hauteur, $H = 4^m,50$ de hauteur, comme la plupart de celles des hôpitaux, la surface de chauffe du tuyau de fumée sera

$$3,14\left(\frac{a+b}{2}\right) \times H = 4^m,50 \times 1^m,19 = 5^{mq},35.$$

Le volume d'air à introduire devant être égal à celui qui est extrait, si la vitesse moyenne de passage est limitée à $1^m,50$ en 1″, la section libre du conduit d'arrivée de l'air sera égale à

$$\frac{Q'}{1,50} = \frac{0^{mc},277}{1^m,50} = 0^{mq},18.$$

Celle du tuyau étant de $\frac{Q'}{2,70} = 0^{mq},10$, la section totale du conduit à ménager pour le passage de la fumée et de l'air nouveau sera égale à $Q'\left(\frac{1}{2,70} + \frac{1}{1,50}\right) = 0^{mq},28$. En lui donnant une section rectangulaire, ou dans l'exemple choisi $0^m,70$ sur $0^m,40$, il restera autour du tuyau de fumée un espace suffisant.

L'orifice du débouché de l'air dans la salle au sommet du conduit et vers le plafond présentera une section libre au moins égale et plutôt supérieure à celle du passage dans le conduit. Il pourra, selon les conditions locales, être ouvert directement à l'extrémité de ce conduit et muni de directrices qui obligent le courant d'air à arriver contre le plafond. Dans beaucoup de cas

et en particulier dans les salles d'hôpitaux étroites et longues, il sera plus convenable de faire arriver cet air dans une corniche creuse, présentant pour débouché une section étroite de 0m,05 à 0m,06 de largeur sur 3m,60 ou 3m,00 de longueur.

La marche que l'on vient d'indiquer pour le cas où l'on voudrait faire évacuer et introduire dans une salle 1000mc d'air par heure devra être suivie pour d'autres proportions.

L'orifice de prise d'air nouveau devra, dans tous les cas, être muni d'un registre qui permette de le fermer en partie ou entièrement, quand on voudra diminuer ou suspendre l'arrivée de cet air.

Explication de la planche. Les cheminées dont on vient d'étudier les effets peuvent être chauffées à la houille, au coke ou au bois. Dans ce dernier cas l'activité du feu étant parfois moindre, ainsi que l'appel d'air qui en est la conséquence, il sera toujours convenable de disposer, comme on l'a dit, un registre qui permette de modérer l'arrivée de l'air extérieur, afin qu'il ait toujours une température convenable. S'il n'était pas à 25 ou 30° environ, il pourrait, au lieu de suivre le plafond et de se mêler avec la masse générale de l'air de la salle, redescendre trop promptement vers la cheminée.

Les deux figures de la planche montrent, l'une la disposition qu'il convient d'adopter pour le chauffage à la houille, l'autre pour le chauffage au bois. La différence principale consiste en ce que le foyer destiné à la houille doit avoir une garniture en briques réfractaires dans la partie occupée par le combustible, tandis que cette garniture est inutile quand on brûle du bois.

L'orifice de prise d'air extérieur peut être pratiqué en arrière, sur le côté ou au bas du conduit. Il doit, dans tous les cas, avoir la même section que l'air libre de passage autour du tuyau de fumée.

Observations sur l'établissement des cheminées ventilatrices. — Les cheminées disposées comme on vient de l'indiquer exigent, il est vrai, un conduit destiné à la fois au passage du tuyau de fumée et à l'admission de l'air extérieur ce : qui, s'il était établi dans l'épaisseur des murs, pourrait présenter quelque difficulté, particulièrement dans les maisons à loyer ayant plusieurs étages.

Cependant cette difficulté est plus apparente que réelle, car, en général, dans les grands salons, l'ornementation même conduit à placer les cheminées en saillie sur l'un des murs, et l'on a vu que, pour obtenir un renouvellement d'air de 1000^{mc} par heure, le conduit ne devait avoir, dans œuvre, que 0^{m}.70 sur 0^{m}.40. Avec ces proportions, il suffirait pour renouveler, deux fois par heure, l'air d'un salon de 10^{m} de long sur 8^{m} de large, et à peu près 6^{m}.50 de hauteur.

Dans tous les hôtels particuliers, dans les habitations de campagne, qui ont rarement plus de deux étages au-dessus du rez-de-chaussée, la prise d'air extérieur et le conduit d'introduction de cet air, après son échauffement, pourront toujours être très-facilement établis. Il en serait presque toujours de même lorsqu'il s'agirait de pièces d'habitation de dimensions ordinaires, pour lesquelles un conduit de 0^{m}.25 sur 0^{m}.60 serait généralement suffisant.

En résumé, les avantages considérables que présentent ces cheminées, tant au point de vue de la meilleure utilisation du combustible qu'à celui de la suppression presque totale de l'introduction de l'air froid par les portes et par les fenêtres, me semblent assez bien établis par les expériences précédentes, pour mériter l'attention des architectes et des constructeurs d'appareils de chauffage.

EXPÉRIENCES SUR LES POÊLES ORDINAIRES SANS BOUCHES DE CHALEUR.

L'on emploie dans les casernes, dans les corps de garde, dans la plupart des écoles et dans beaucoup de logements, des poêles en fonte chauffés à la houille et sans aucune circulation d'air extérieur qui vienne renouveler une partie de celui qui est vicié par la présence des individus. Ces poêles, soumis à l'action directe du combustible, atteignent souvent la température rouge, déterminent dans l'air ambiant une odeur particulière désagréable et produisent un chauffage très-énergique, mais aussi incommode qu'insalubre.

Les poêles en faïence présentent à un degré moindre des inconvénients analogues. Étant presque toujours disposés pour être alimentés avec du bois, ils ne s'échauffent pas à beaucoup près autant que ceux de fonte et les matériaux employés dans leur construction, moins conducteurs de la chaleur que la fonte, sont plus lents à s'échauffer, moins sensibles aux variations du feu et conservent plus longtemps la chaleur.

Mais ces appareils, comme les précédents, ont le grave défaut de ne produire dans les locaux échauffés qu'une évacuation et un renouvellement d'air complétement insuffisants pour en assurer la salubrité; puisque ce volume se réduit à celui qu'ils appellent par l'ouverture, toujours fort restreinte, que présente leur porte et qui s'écoule à l'état de fumée par leur tuyau.

D'une autre part, ce défaut même rend les poêles de ce genre économiques au point de vue de l'utilisation de la chaleur développée par le combustible, et cet avantage, auquel on attache malheureusement beaucoup trop d'importance, au détriment de la santé publique, joint à la facilité de leur service, en fait conserver l'usage.

Afin de mettre en évidence l'insuffisance du renouvellement d'air produit par ces appareils de chauffage et d'apprécier leur rendement comme moyen d'utiliser la chaleur développée par

le combustible employé, j'ai fait faire les expériences suivantes sur un poêle en fonte d'une construction fort préconisée en Angleterre et sur un poêle ordinaire en faïence.

Dans les deux cas l'on a déterminé, à l'aide d'un anémomètre, le volume d'air introduit dans le poêle, par l'appel qu'il exerçait, la température à laquelle il y entrait et celle qu'il avait dans le tuyau de fumée à 4 mètres de distance du poêle; ce qui correspond à une longueur de tuyau de circulation qui est rarement dépassée.

De ces données, il a été facile de déduire la quantité de chaleur emportée au dehors par l'air introduit et non utilisée. Le reste de la chaleur développée par le combustible avait évidemment été répandu dans le local chauffé, et par conséquent l'on pouvait en conclure le rapport de la chaleur ainsi utilisée à la chaleur dépensée, ou ce que nous appellerons le rendement calorifique de l'appareil.

La houille, consommée dans ces expériences et dans celles dont il sera parlé plus loin, était celle de Charleroi, et l'on a fait aussi des expériences analogues avec du coke. Nous admettrons dans les calculs que la houille développait 8000 unités de chaleur par kilogramme et le coke 7500.

En opérant sur un poêle en faïence, on s'est servi de bois qui était sec et avait été livré au Conservatoire dans l'automne de 1865, et la quantité de chaleur développée par kilogramme a été estimée à 3600 calories.

Poêle en fonte. Le poêle soumis aux expériences se composait[1] d'un cylindre ou cloche de $0^m,256$ de diamètre et de $0^m,64$ de hauteur, avec grille, et dont les parois présentaient à l'extérieur 32 appendices ou nervures dirigées dans le sens des rayons.

Cette disposition, employée par plusieurs constructeurs, a pour objet d'augmenter la surface extérieure de chauffe de l'appareil en profitant de la conductibilité de la matière.

1. Les figures relatives à ces expériences seront données dans le numéro suivant.

La surface totale de chauffe se composait ainsi qu'il suit :

Surface de la cloche, déduction faite des nervures,	$0^{mq},3538$
Surface des 32 nervures	$3^{mq},4176$
Surface de la calotte supérieure	$0^{mq},1400$
Total . . .	$3^{mq},7854$

Il serait assez difficile, sans exécuter des expériences comparatives sur des appareils spéciaux, de savoir si cette disposition réalise les avantages que les constructeurs s'en promettent.

Le tuyau d'échappement de la fumée montait verticalement, le tirage était actif.

Un tuyau en zinc placé contre l'orifice d'admission de l'air dans le poêle et qui se terminait dans la salle par une partie cylindrique de $0^{m},11$ de diamètre ou $0^{mq},0095$ de section, recevait un anémomètre, qui faisait connaître la vitesse de l'air introduit, au moyen de la formule

$$V = 0^{m},30 + 0,0789\ N$$

et par suite son volume.

A quatre mètres de distance du poêle, un orifice percé dans le tuyau de fumée permettait de déterminer la température des gaz produits par la combustion; mais elle était tellement élevée, que des thermomètres à mercure, indiquant jusqu'à 360°, ont été insuffisants et qu'il a fallu se servir de métaux fusibles, ce qui n'a pu fournir que des appréciations de la température évidemment inférieures à sa valeur réelle.

Les observations ont été prolongées chaque fois pendant sept heures, afin de pouvoir bien régler la consommation de combustible et de multiplier suffisamment les déterminations du volume d'air introduit et des températures qu'il acquérait.

Les résultats des observations sont résumés dans le tableau suivant :

Expériences sur un poêle en fonte à nervures, du système de M. Gurney, faites au Conservatoire des Arts et Métiers.

DATES. 1866.	Durée de l'expérience.	TEMPÉRATURE extérieure.	TEMPÉRATURE intérieure de la salle.	TEMPÉRATURE de la fumée.	CONSOMMATION DE CHARBON Totale.	CONSOMMATION DE CHARBON Par heure.	CHALEUR dépensée par heure.	VOLUME d'air évacué par heure.	CHALEUR emportée par cet air en une heure.	RAPPORT à la chaleur dépensée.	CHALEUR introduite dans la salle par heure.	RENDEMENT calorifique de l'appareil.	VOLUME d'air évacué par kilogramme de combustible.
					Chauffage à la houille.								
	h. m.	0	0	0	kil.	kil.	cal.	mc.	cal.		cal.		mc.
24 janvier.	7 »	6.6	18.0	400	25.00	3.571	28568	23.400	2585.00	0.090	25983	0.910	6 55
25 janvier.	7 15	1.6	15.3	412	27.00	3.784	29792	27.702	3206.00	0.108	26586	0.892	7.32
					Moyennes.....		29180	25.551		0.099	26284	0.901	6.93
					Chauffage au coke.								
26 janvier.	7 45	2.9	17.0	400	20.00	2.581	19356	30.780	3408	0.176	15948	0.824	11.92
27 janvier.	8 15	1.8	17.2	400	22.40	2.715	20362	28.215	3124	0.153	17238	0.847	10.39
1er février.	7 30	13.2	17.0	400	23.00	2.933	21997	35.055	3882	0.170	18105	0.824	11.95
					Moyennes... .		20572	31.350	3471	0.168	17097	0.832	11.75

Conséquences des résultats précédents. Ce tableau met en évidence les avantages et les inconvénients du poêle soumis aux expériences. L'on y voit, en effet, que le volume d'air appelé et évacué de la salle par cet appareil ne s'est élevé dans le chauffage à la houille qu'à 25^{mc},551 par heure, et dans le chauffage au coke qu'à 31^{mc},35.

Cet air, malgré la haute température de 400 à 412° au moins, à laquelle il s'est échappé dans l'air, n'a emporté dans le chauffage à la houille à l'extérieur qu'une partie de la chaleur développée par le combustible égale en moyenne à 0,099, et par conséquent le reste, ou les 0,901 de cette chaleur dépensée, a été répandu dans la salle.

Lorsque l'on a chauffé au coke qui, par kilogramme, développe moins de chaleur et qui laisse plus facilement circuler l'air à travers sa masse, le volume d'air évacué a été un peu plus grand, la température qu'il a acquise n'a pas été très-sensiblement moindre, et la chaleur emportée par cet air a atteint la proportion moyenne de 0,168, celle qui était répandue dans la salle n'étant plus que 0,832 de la chaleur développée par le combustible.

Au point de vue du chauffage et de l'utilisation du combustible consommé, le poêle essayé serait donc d'un emploi avantageux.

On fera même observer que, si dans le chauffage au coke le volume d'air évacué par kilogramme de charbon brûlé s'est élevé à 11^{mc},75, tandis qu'avec la houille il n'avait été que de 6^{mc},93, cela indique que l'orifice d'admission de l'air ménagé dans la porte du poêle était plus grand qu'il n'était nécessaire et qu'il eût été possible de le réduire, sans nuire à la régularité de la combustion. On sait d'ailleurs que, dans les poêles à coke, il suffit, en effet, de très-petits orifices d'admission de l'air.

Mais si l'usage de ce poêle est économique sous le rapport de l'emploi du combustible, il présente, sous celui de l'hygiène, les plus graves inconvénients. En effet, comme on vient de le voir, il ne détermine l'évacuation et par conséquent le renouvellement de l'air de la salle chauffée, qui a une capacité cubique de 270^{mc}, qu'à raison de 25^{mc},55 avec la houille, ou de 31^{mc},35 avec le coke, ou à peine une fois en dix heures, ou dans une proportion tout à fait insuffisante. Si d'ailleurs, pour diminuer

ce défaut si grave, on adoptait quelque disposition qui accrût l'évacuation de l'air dans une proportion notable, le rendement calorifique de l'appareil serait considérablement diminué, parce que la proportion de la chaleur emportée à l'extérieur serait augmentée.

Mais, outre l'inconvénient de ne produire qu'un renouvellement insensible de l'air, les poêles en fonte ont encore celui de donner un chauffage très-désagréable et très-peu salubre. Dans le cours des expériences précédentes, quoique la température de la salle ait été maintenue, comme on le voit dans le tableau, dans les limites convenables de 17 à 18 degrés, et que le feu ait été conduit avec une régularité que l'on n'observe pas à beaucoup près ordinairement, le séjour dans cette salle était pénible pour les observateurs, et ils étaient obligés de se tenir à une grande distance de l'appareil.

Quantité de chaleur passée par mètre carré de surface de chauffe. Il n'a pas été possible de déterminer la température extérieure du poêle dans les diverses expériences qui ont été exécutées, et par conséquent je n'ai pas pu chercher à appliquer à la discussion des résultats la formule de Newton sur la transmission de la chaleur à travers les corps. Je suis donc forcé de me borner à constater que le poêle en fonte, ayant une surface totale de chauffe de $3^{mq},7854$ y compris celle de ses nervures, a pu laisser passer dans la salle une quantité de chaleur de 26284 calories, ce qui correspond à $\frac{26284}{3,7854} = 6944$ calories par mètre carré avec un feu actif de houille.

Si l'on se bornait à ne tenir compte que de la surface du corps cylindrique du poêle qui est égale à $0^{mq},622$, la quantité de chaleur passée par mètre carré de cette surface serait $\frac{26284}{0,628} = 41853$ calories.

D'une autre part, ce poêle ayant suffi facilement à chauffer une salle de la capacité de 270^{mc}, offrant $250^{mq},70$ de surface de murs, de planchers et de plafonds, et $9^{mq},78$ de surface de vitrage, ou $\frac{1}{25}$ environ de la superficie totale en vitrage, l'on voit que, dans des conditions semblables, il suffit que la surface de chauffe

totale soit au plus de $\frac{3^{mq},7854}{0,270} = 14^{mq},2$ par 1000 mètres cubes de capacité.

Le premier rapport, trop faible, montre que la surface totale est plus grande qu'il n'est nécessaire, et le second, que les nervures aident cependant à la dispersion, car le corps seul du poêle n'aurait pas suffi dans les conditions de l'expérience pour laisser passer les 26284 calories, et alors la fumée serait sortie encore plus chaude.

Répartition des températures à différentes hauteurs dans la salle. Il ne sera pas inutile de montrer par un exemple l'inégalité que le défaut de renouvellement, et par conséquent de circulation de l'air dans les locaux chauffés par des poêles, occasionne dans les températures à diverses hauteurs. Des thermomètres ayant été placés dans la salle aux hauteurs de $0^m,55$, $1^m,40$, $2^m,50$, $3^m,40$ et $5^m,30$ au-dessus du plancher, l'on a observé les températures indiquées dans le tableau suivant :

Températures observées dans la salle du conseil du Conservatoire des Arts et Métiers.

HEURES.	HAUTEURS DU THERMOMÈTRE AU-DESSUS DU PLANCHER.					A FLEUR du plancher.
	$0^m.55$	$1^m.40$	$2^m.50$	$3^m.30$	$5^m.30$	
10^h 45′	17°.00	17°.75	18°.50	19°.00	22°.50	16°.00
12 »	17 .20	19 .00	20 .60	21 .50	24 .60	16 .75
1 10	17 .80	19 .75	21 .00	21 .90	24 .75	17 .20
2 »	18 .80	20 .75	22 .50	23 .40	27 .00	18 .75
3 »	19 .90	21 .60	23 .60	24 .50	27 .60	18 .74
3 55	20 .25	»	24 .40	25 .00	28 .50	19 .25
4 30	20 .25	22 .75	24 .40	25 .10	28 .50	19 .25

L'on voit par ces résultats combien la répartition de la chaleur et des températures est irrégulière dans les lieux échauffés par de semblables poêles, et l'on ne doit pas s'étonner que, quand on a longtemps les pieds posés sur le sol et dans une

couche d'air à 16° et la tête dans une autre à 2 ou 3 degrés de plus, il n'en résulte vers les parties supérieures un mouvement de circulation du sang qui cause des céphalalgies.

Quantité de chaleur nécessaire pour chauffer la salle du conseil. La salle dans laquelle les expériences précédentes ont été exécutées a, comme on l'a dit, 270 mètres cubes de capacité. Elle offre comme surfaces refroidissantes :

Plancher sur caves	43^{mq},6644
Mur de face avec deux portes sur la cour (Surface des deux portes 3^{m},12 × 1^{m},61 × 2 = 10^{mq},0464)	57^{mq},6594
Mur de façade sur la rue, déduction faite de deux fenêtres.	52^{mq},8194
Deux murs de refend avec trois portes	57^{mq},8448
Plafond sous comble en zinc, déduction faite de la partie vitrée	38^{mq},7249
Surface vitrée, plafond	4^{mq},9395
— deux fenêtres	4^{mq},8400

Dans la première série d'expériences faite en brûlant de la houille l'on a été souvent obligé d'ouvrir la fenêtre; quant à la quantité de chaleur introduite dans la salle, elle a été en moyenne de 26284 calories par heure, et elle y a maintenu une température moyenne de 18°,6, supérieure de 9°,6 à celle de l'air extérieur. Dans ces conditions il faudrait donc $\frac{26284 \times 1000}{270} = 97163$ calories pour échauffer à ce degré une capacité de 1000 mètres cubes, ou 10122 calories environ par degré de différence de température, et par 1000 mètres cubes.

Dans la seconde série, où les fenêtres n'ont pas été ouvertes et où l'on a brûlé du coke, la quantité de chaleur introduite a été en moyenne de 17097 calories et elle a suffi pour maintenir la température à 17°, alors que celle de l'air extérieur moyenne était de 10°.

Il suffirait donc, pour obtenir cette augmentation de température, d'introduire dans cette salle $\frac{17097 \times 1000}{270} = 63222$ calories par 1000 mètres cubes de sa capacité ou 9032 calories par degré de différence de température par 1000 mètres cubes.

Expériences sur un poêle en faïence. Des observations analogues ont été faites dans la même salle avec un poêle de faïence n'ayant pas de bouches de chaleur. L'on y a procédé exactement de la même manière que pour les précédentes et, en estimant le uombre d'unités de chaleur développées par kilogramme de bois brûlé à 3600 calories, l'on a obtenu les résultats consignés dans le tableau suivant :

Expériences sur un poêle en faïence, sans bouches de chaleur, faites au Conservatoire des Arts et Métiers.

DATES, 1866.	Durée de l'expérience.	TEMPÉRATURE extérieure.	TEMPÉRATURE intérieure de la salle.	TEMPÉRATURE de la fumée.	CONSOMMATION DE BOIS Totale.	CONSOMMATION DE BOIS Par heure.	Chaleur dépensée.	Volume d'air évacué par heure.	Chaleur emportée par cet air en une heure.	Rapport à la chaleur dépensée.	Chaleur introduite dans la salle par heure.	Rendement calorifique de l'appareil.	Volume d'air évacué par kilogramme de bois brûlé.
	h. m.	°	°	°	kil.	kil.	cal.	mc.	cal.		cal.		mc.
7 fév.	8 30	11.4	17.6	360	43.200	5.082	18295	29.764	2618	0.143	15577	0.857	5.85
8 fév.	8 •	10.0	17.5	360	37.800	4.720	16992	20.736	2053	0.120	14941	0.880	4.39
					Moyennes...		17643	25.25		0.131	15259	0.868	5.12

Conséquences des résultats précédents. Les observations faites avec ce poêle en faïence concordent à peu près avec celles qui ont été exécutées sur un poêle en fonte. L'on voit, en effet, que la chaleur emportée par la fumée n'est que 0,131 de celle qu'a développée le combustible et que la chaleur introduite dans la salle en est les 0,868; ces deux rapports sont intermédiaires entre les valeurs analogues trouvées pour le poêle en fonte, selon qu'il avait été chauffé à la houille ou au coke.

Il n'est d'ailleurs pas inutile de faire remarquer que la température de la fumée a été estimée à 400°, point de fusion du cadmium, qui se liquéfait rapidement, tandis que le zinc restait solide. Elle était donc un peu plus élevée que 400°, et le rendement calorifique de l'appareil devait être un peu inférieur à la valeur moyenne 0,868 que l'on déduit du tableau.

Le volume d'air évacué par heure n'a encore été que de $25^{mc},25$, c'est-à-dire inférieur au centième du volume cubique

de la salle, et tous les inconvénients d'un chauffage sans renouvellement d'air se sont manifestés dans ces expériences, comme dans les précédentes.

La chaleur introduite dans la salle a été en moyenne de 15259 calories par heure et elle a suffi pour y maintenir une température de 17°,5 alors que celle de l'air extérieur était de 10 à 11°. Il a donc fallu, pour le chauffage de cette pièce, y introduire $\frac{15259 \times 1000}{270} = 56515$ calories.

Conclusions des expériences sur le chauffage par des poêles ordinaires. En résumé, l'on voit que les poêles en fonte et les poêles en faïence, sans bouches de chaleur, donnent à peu près un même rendement calorifique et voisin de 0,85, mais que le renouvellement d'air qu'ils produisent étant excessivement faible, ils constituent un chauffage très-peu salubre qui, tout en élevant la température moyenne des locaux où ils sont placés, n'y produit qu'une répartition très-inégale de la chaleur.

Ces appareils ne doivent donc être employés que dans des lieux de passage fréquemment ouverts, où l'on ne séjourne pas; mais ils devraient être écartés de tous les locaux occupés pendant quelque temps, tels que les écoles, les corps de garde, les casernes, etc. Cette conclusion est encore plus motivée pour les poêles en fonte que pour ceux de faïence, parce que les premiers, ordinairement chauffés à la houille, acquièrent des températures excessives qui communiquent à l'atmosphère une odeur désagréable et des propriétés insalubres.

Paris. — Imprimerie de P.-A. BOURDIER et Cie, 6, rue des Poitevins.

NOTE

SUR LES

APPAREILS DE CHAUFFAGE

PAR M. LE GÉNÉRAL MORIN.

POELES CALORIFÈRES A CIRCULATION D'AIR.

Expériences sur les poëles-calorifères à circulation d'air. — Les inconvénients que nous avons reprochés aux poëles ordinaires sont connus depuis longtemps, et l'on a cru y remédier, en partie du moins, en employant des appareils qui, à l'économie du combustible, joignissent l'avantage d'introduire, dans les locaux échauffés, un volume d'air extérieur plus ou moins considérable, élevé à une température dépendant des proportions et des dispositions adoptées pour en assurer la circulation autour des surfaces de chauffe intérieures.

De là sont venus les poëles ordinaires à bouches de chaleur, et tous ceux qui, par des dispositions diverses, remplissant cette condition, ont été appelés poëles ou calorifères à circulation d'air, et auxquels les constructeurs donnent, souvent à tort, le titre de calorifères ventilateurs.

Afin de connaître l'effet obtenu à l'aide d'appareils de ce genre, j'ai fait exécuter les expériences suivantes :

Calorifère de M. Chaussenot. — Cet appareil, connu depuis longtemps, se compose, comme on le sait et comme le montre la pl. 45, fig. 6 et 7, d'une cloche ou foyer en fonte, que l'on charge ordinairement de houille, et au bas duquel est une grille, qui prend l'air soit dans la salle à échauffer, soit à l'extérieur.

Les produits de la combustion s'élèvent dans une sorte de boîte à fumée, dans laquelle débouchent des tuyaux verticaux, au nombre de dix, et de $0^m,08$ de diamètre dans le poële essayé. Ces gaz descendent ainsi dans une seconde boîte à fumée inférieure, d'où ils passent dans le tuyau de fumée proprement dit. Le foyer, les boîtes et les tuyaux sont contenus dans une enveloppe en tôle, surmontée d'un couvercle percé de nombreux orifices, et dans laquelle pénètre de l'air qui peut, à volonté, être pris à l'intérieur du local échauffé, ou mieux à l'extérieur, ce qui réalise la condition de l'introduction régulière d'un certain volume d'air nouveau.

L'on conçoit que, dans ce dispositif, la plus grande partie de la chaleur développée par le combustible pouvant être employée à échauffer l'air qui circule à l'intérieur, l'enveloppe extérieure est moins chaude que dans les appareils précédemment étudiés (n° 23), et que le chauffage peut être un peu moins insalubre.

Mais l'introduction d'air extérieur n'étant pas accompagnée d'une extraction abondante d'air vicié, le problème de la salubrité n'est nullement résolu, et, d'ailleurs, le volume d'air qui passe dans le foyer est toujours très-restreint.

Pour apprécier les effets de cet appareil, l'on a procédé de la manière suivante sur un poële de ce genre établi dans la galerie de physique du Conservatoire : le volume d'air évacué par le foyer et par le tuyau de fumée a été mesuré, comme précédemment, en plaçant devant la bouche du poële un tuyau convenablement adapté, et en y déterminant la vitesse et la température de l'air introduit, ainsi que celle qu'il avait à 4 mètres au-dessus de son arrivée dans le tuyau de fumée.

Un autre tuyau, beaucoup plus grand, était posé sur le poële; il dirigeait vers le plafond l'air qui avait circulé dans l'intérieur après s'y être échauffé, et servait à en déterminer le volume.

On notait la consommation du combustible, qui était réglée avec soin, et, en répétant fréquemment les observations, l'on s'assurait que la marche de l'appareil était régulière.

Les résultats des observations, prolongées chaque fois pendant sept heures au moins, sont résumées dans le tableau suivant :

Expériences sur un calorifère de M. Chaussenot, établi dans la galerie de physique du Conservatoire des arts et métiers.

DATES 1866	Durée de l'expérience.	TEMPÉRATURES extérieure.	TEMPÉRATURES intérieure de la salle.	TEMPÉRATURES de la fumée.	TEMPÉRATURES de l'air introduit dans la salle.	CONSOMMATION de charbon totale.	CONSOMMATION de charbon par heure.	Chaleur dépensée par heure.	Volume d'air évacué par heure.	Chaleur emportée par la fumée.	Rapport à la chaleur dépensée.	Volume d'air introduit par circulation.	Chaleur introduite par l'air circulant.	Rapport à la chaleur dépensée.	Chaleur transmise par les parois.	Rapport à la chaleur dépensée.	VOLUME D'AIR évacué par kilogramme de houille.	VOLUME D'AIR introduit par kilogramme de houille.	Chaleur introduite dans la salle.	Rapport à la chaleur dépensée ou rendement calorifique
	h. m.	o	o	o	o	kil.	kil.	cal.	m.	cal.		m.	cal.		cal.		m.	m.	cal.	
31 janv..	7 »	9.6	12.6	214.0	124.7	43.10	6.157	49256	64.44	3817.5	0.078	1002	35867	0.726	9572	0.194	10.46	163.7	45432	0.922
2 févr..	7 30	15.0	14.6	225.6	143.7	51.00	6.800	54400	48.91	3113.0	0.056	1111	41864	0.769	9523	0.175	7.19	163.3	51287	0.944
	Moyennes...			218.8	134.2	47.00	6.478				0.067	1060		0.748		0.125	5.82	163.5		0.933

Conséquences des résultats précédents. — L'examen de ce tableau montre que le volume d'air évacué de la salle ne s'est élevé, en moyenne, qu'à 47mc,00 par heure, ce qui serait à peu près insignifiant pour l'assainissement du local. Mais cet air, passé à l'état de fumée, n'a acquis qu'une température moyenne de 218°8, qui, bien que beaucoup plus élevée qu'il n'est nécessaire pour assurer un tirage très-actif, est au moins fort inférieure à celle qu'atteint, comme on l'a vu, la fumée dans les poêles ordinaires, ce qui atténue la perte de chaleur entraînée à l'extérieur.

Cette quantité de chaleur ainsi perdue ne s'est élevée, en moyenne, dans les deux expériences, qu'à 0,067 de celle qui avait été développée par le combustible; le surplus, ou les 0,933 de celle-ci, a donc été introduit utilement dans la salle, et ce chiffre constitue le rendement calorifique de l'appareil, qui est ainsi un peu supérieur à celui des poëles communs en fonte ou en faïence.

Cette chaleur, introduite dans la salle, se compose de deux parts, l'une correspondante au volume d'air échauffé par la circulation et qui s'est

élevée, en moyenne, aux 0,748 de la chaleur développée par le combustible, et l'autre égale à 0.933 — 0.748 = 0.185 de la même quantité, qui est transmise par les parois et ne peut être déterminée que par différence.

La température de l'air introduit est de 134°, et par conséquent beaucoup plus élevée qu'il ne conviendrait pour un chauffage salubre, et quoique le rendement calorifique en air échauffé se soit ainsi élevé à 0,748 de la chaleur totale dépensée, l'on comprend facilement que, par des dispositions plus convenables, et, en particulier, en allouant à la circulation de l'air introduit des passages plus larges, on pourrait augmenter son volume, restreindre l'élévation de température qu'il acquiert tout en diminuant celle de la fumée, et augmenter encore le rendement calorifique de l'appareil.

Mais cette modification n'est pas la seule et la plus importante qu'il convienne d'apporter aux appareils de ce genre, il faudrait aussi les disposer de manière qu'ils assurassent une évacuation abondante de l'air vicié. Les constructeurs ne se sont pas préoccupés de cette partie importante de la question, et ne songent, en général, qu'à assurer le chauffage dont le résultat est immédiatement appréciable.

Quantité de chaleur passée par la surface de chauffe. — Les surfaces de chauffe du poêle de M. Chaussenot se composent ainsi qu'il suit :

Surface de la cloche	$0^{mq}.8584$
Tuyau de communication avec la calotte supérieure.	$0^{mq},0614$
Surface des deux calottes.	$0^{mq}.7944$
Surface des trois barres de chargement	$0^{mq}.3503$
Surface des dix tuyaux de fumée	$2^{mq}.5120$
Total. . .	$4^{mq}.5765$

La quantité de chaleur qui a traversé ces surfaces a été, en moyenne, de 48 362 calories par heure, ce qui correspond à . . $\frac{48\ 362}{45\ 765} = 10\ 568$ calories par mètre carré.

Charbon brûlé par mètre carré de surface de grille. — La surface de la grille est de $0^{mq}.0452$. On a brûlé, en moyenne, $6^{k}.472$

par heure, ce qui revient à $\frac{6^{k}.478}{0^{k}.0452} = 143^{k}.3$ par mètre carré de surface de grille et par heure.

Poëles à circulation d'air en usage dans quelques écoles municipales de la ville de Paris. — L'on a mis en usage, depuis longtemps, dans quelques-unes de ces écoles, et la Compagnie parisienne d'éclairage et de chauffage par le gaz préconise encore beaucoup des poëles en fonte chauffés à la houille ou au coke, et qui se composent simplement d'un foyer cylindrique en fonte muni, vers le bas (pl. 45, fig. 8 et 9), d'une sorte de creuset de même matière, destiné à recevoir le combustible, et dont les parois épaisses doivent résister longtemps à la dégradation. Le foyer est entouré par une enveloppe en fonte ou en tôle, qui, par le bas, doit communiquer avec un carneau amenant l'air extérieur, et qui, recouverte à sa partie supérieure d'une grille à jour, verse dans la salle cet air échauffé.

La fumée s'échappe directement dans un tuyau auquel on fait ordinairement parcourir une grande partie de la longueur de la salle, et qui se rend ensuite dans une cheminée d'appel, destinée à produire l'évacuation de l'air vicié, à l'aide de la chaleur que les parois de ce tuyau et la fumée qui s'en échappe conservent encore.

Je ferai de suite remarquer que cette ventilation, qui est toujours fort peu énergique, le devient d'autant moins que la température extérieure est plus élevée, et qu'elle est annulée quand le chauffage cesse, c'est-à-dire dans le moment où elle est en quelque sorte le plus nécessaire. Je montrerai d'ailleurs plus loin, par des observations spéciales, combien la ventilation par la chaleur perdue des tuyaux de fumée est faible, même quand le feu est actif.

Quoi qu'il en soit, les expériences faites sur un poële de ce genre, représenté figure 8 et 9 (pl. 45), et qui avait les dimensions et les surfaces de chauffe suivantes, ont été conduites comme les précédentes.

L'on a déterminé le volume d'air entré dans le foyer et celui qui circulait dans le poële, leurs températures à l'introduction et à la sortie, la quantité de charbon brûlé, et, à l'aide de ces données, on a formé le tableau suivant:

Expériences sur un poêle à circulation d'air du modèle en usage dans quelques écoles de la ville de Paris.

DATES [illegible].	Durée de l'expérience.	TEMPÉRATURES extérieure.	TEMPÉRATURES intérieure de la salle.	TEMPÉRATURES de la fumée.	TEMPÉRATURES de l'air introduit dans la salle.	Consommation de CHARBON totale.	Consommation de CHARBON par heure.	Chaleur dépensée par heure.	Volume d'air évacué par heure.	Chaleur emportée par la fumée.	Rapport à la chaleur dépensée.	Chaleur introduite dans la salle.	Rapport à la chaleur dépensée.	Chaleur transmise par les parois.	Rapport à la chaleur dépensée.	Volume d'air introduit par la circulation.	Chaleur introduite dans la salle par la circulation en 1 heure.	Rapport à la chaleur dépensée.	Volume d'air évacué par kilogr. de houille.	Volume d'air introduit par kil. de houille.
	h.	°	°	°	°	kil.		cal.	mc.	cal.		cal.		cal.		mc.	cal.		mc.	mc.
15 février.	6.25	5.70	16.0	412	233	19.20	3.07	24560	60.84	7033	0.286	17527	0.714	8646	0.353	140.4	8881	0.361	19.81	
16 id...	7.00	10.1	16.6	412	185	17.00	2.43	19440	61.20	7046	0.362	12394	0.638	5328	0.274	141.0	7066	0.363	25.18	
					209		2.75		61.02		0.324	14962	0.676		0.314	142.2	7973	0.362	22.49	51.6

Conséquences du tableau précédent. — L'examen des résultats observés dans ces expériences montre que le volume d'air évacué par heure et transformé en fumée ne s'est élevé, en moyenne, qu'à $61^{mc},02$, ce qui serait complétement insuffisant pour l'assainissement. Cet air avait conservé, à $4^{m},00$ de distance du poêle, une température moyenne de 209°, plus que suffisante pour un bon tirage. La chaleur qu'il avait ainsi emportée en pure perte s'est élevée, en moyenne, à 0,324, et le surplus de la chaleur développée par le combustible, ou les 0,676, a été utilement introduit dans la salle. Il représente le rendement calorifique de l'appareil, qui se trouve ainsi bien inférieur à celui du poêle de M. Chaussenot.

Cette quantité de chaleur s'est composée de la chaleur correspondante au volume moyen de $61^{mc},00$ introduit par la circulation, et de celle qui a été répandue par le rayonnement de l'enveloppe, que l'on ne peut déterminer que par différence, et qui est ainsi estimée aux 0,314 de la chaleur dépensée.

La température de l'air introduit ayant été, en moyenne,

de 209°, comme on l'a dit, on voit qu'elle excède de beaucoup les limites qu'indiquent les conditions de salubrité : aussi le chauffage par les poëles de ce genre est-il bien plus incommode que celui des calorifères à circulation plus complète, tels que ceux du système Chaussenot, et autres analogues.

Si le combustible employé avait été du coke, le volume d'air nécessaire à l'entretien du feu eût été moindre, mais sa température eût été plus élevée, et le renouvellement de l'air aurait encore été plus faible. Le chauffage aurait donc été tout aussi insalubre.

Chaleur nécessaire pour chauffer un local de 1000 *mètres cubes de capacité.* — Pendant les expériences sur le calorifère précédent, la température extérieure a été, en moyenne, de 7°.8, et celle de la salle a été maintenue à 16 degrés environ par l'introduction directe d'une quantité de chaleur moyenne de 14961 calories, amenées par l'air échauffé, ce qui, pour la capacite de 270 mètres cubes de cette salle, correspond à $\frac{14961 \times 1000}{270} = 55411$ calories par 1000 mètres cubes de capacité du local à échauffer.

Quantité de chaleur passée par les surfaces de chauffe. — Les surfaces de chauffe de l'appareil se composent:

1° De la surface de la cloche extérieure . . . . $0^{mq}.7804$
2° De la surface du cendrier. . . . . $0^{mq}.1175$
3° De la surface de l'enveloppe. . . . . $1^{mq}.3070$

Mais il faut remarquer que la surface de l'enveloppe ne reçoit de chaleur que par le rayonnement de la cloche intérieure et par le contact de l'air échauffé par celle-ci, de sorte que les seules surfaces qui utilisent et transmettent la chaleur développée par la combustion sont celles de la cloche et du cendrier, qui, ensemble, ont une superficie de $0^{mq}.8979$.

La quantité de chaleur qui a traversé cette surface étant, en moyenne, de 14961 calories, il en résulte qu'il est passé, en moyenne, $\frac{14961}{0.8979} = 16667$ calories par heure.

Charbon brûlé par mètre carré de grille. — La surface de la grille est de $0^{mq}.0456$. Il y a été brûlé, en moyenne, $2^{k}.75$ par heure. On peut donc, dans un semblable poële, brûler

$\frac{2^{k}.75}{0^{mq}.0456} = 60^{k}.30$ par mètre carré de surface de grille et par heure, et le tableau montre qu'il passe, en moyenne, par cette grille et dans ces conditions, $22^{mc}.49$ d'air par kilogramme de houille brûlée.

EXPÉRIENCES SUR LES CALORIFÈRES A AIR CHAUD A TUYAUX HORIZONTAUX, 1865.

Des calorifères à air chaud. — Les différents systèmes de construction de ces appareils peuvent être ramenés à deux types : l'un, où la plus grande partie des tuyaux de circulation de la fumée sont horizontaux ; l'autre, où ils sont, au contraire, verticaux. Le mouvement de l'air, qui doit s'échauffer au contact de la surface extérieure de ces tuyaux, présentant des différences qui peuvent avoir de l'influence sur les résultats, j'ai fait exécuter des expériences sur deux calorifères de chacun de ces types.

Expériences sur les calorifères à air chaud à tuyaux horizontaux. — Les deux calorifères du grand amphithéâtre du Conservatoire des arts et métiers, reconstruits à neuf en 1863, en très-bon état d'entretien et de nettoyage, et dont tout le produit en air chaud peut-être à volonté dirigé dans un seul conduit vertical, où des observations sur la vitesse et sur la température de l'air qu'ils fournissent sont faciles à exécuter, m'offraient une disposition qui m'a paru mériter d'être étudiée.

Description des calorifères soumis aux expériences. — Le grand amphithéâtre est chauffé par deux calorifères disposés de même, mais de proportions différentes. Je me contenterai de décrire le plus grand et de donner les principales proportions des deux.

Le grand calorifère, représenté par les fig. 10 et 11, pl. 45, dans lesquelles la fig. 10 est une coupe transversale faite suivant l'axe de la grille, et la figure 11 une coupe longitudinale suivant la direction des axes des grands tuyaux.

Dans ces figures, on représente par

A, fig. 10, la prise d'air qui fournit l'air nécessaire à la combustion.

A', fig. 2, la prise de l'air qui doit être échauffé.

Dans les calorifères des amphithéâtres du Conservatoire, ces deux prises d'air sont distinctes, afin que, lors de l'allumage, l'on ne soit jamais exposé à ce que, s'il se produit d'abord quelque fumée, elle ne pénètre dans le corps du calorifère, et de là dans les salles; ce qui, du reste, est fort rare, et ne pourrait arriver qu'aux premiers jours de chauffage de chaque année. Cette disposition a surtout l'avantage d'éviter que l'air introduit dans les locaux à échauffer n'entraîne avec lui de la poussière de charbon et des cendres soulevées par le service du foyer; elle doit donc être recommandée.

B, le cendrier.

C, le foyer, avec enveloppe de fonte.

DD, les deux premiers tuyaux d'évacuation de la fumée.

EE, les deux seconds tuyaux, garnis chacun de six tubulures *e e*.

FF, première série de tuyaux longs, au nombre de six, recevant la fumée à leurs deux extrémités par les tubulures *e e*, et la laissant sortir par une tubulure *f*, placée au milieu de leur longueur.

GG, deuxième série de tuyaux longs, au nombre de six, recevant la fumée, au milieu de leur longueur, par les tubulures *f*, et la laissant sortir par les deux tubulures *gg*, placées à leurs extrémités.

HH, troisième série de six tuyaux longs, analogue à la première, et laissant échapper la fumée par les tubulures *hh*, placées au milieu de leur longueur.

I, tuyau collecteur unique, recevant la fumée par les six tubulures *h*, et la laissant échapper vers la cheminée, par le tuyau *k*.

LL, chambre d'air chaud d'où partent les conduits qui doivent le diriger aux points de distribution.

Toutes les fois que les dispositions locales le permettront, ce tuyau *k*, qui doit être en fonte, sera dirigé dans l'un des conduits d'air chaud qu'alimente le calorifère, afin d'enlever aux gaz, généralement trop chauds, provenant de la combustion,

une plus grande partie de leur chaleur. C'est ce qui a pu être fait pour le grand calorifère de cet amphithéâtre.

Les figures montrent que les tuyaux longs et horizontaux, dans lesquels circule la fumée, sont fermés, à leurs deux extrémités, par des boîtes lutées, que l'on peut enlever pour extraire les cendres entraînées par les gaz et déposées dans les tuyaux. Cette disposition rend le nettoyage très-facile. L'expérience montre, d'ailleurs, que la présence d'une certaine quantité de cendres ne nuit pas notablement à l'effet calorifique de l'appareil. En conservant mieux la chaleur que la fonte des tuyaux, ces cendres en prolongent l'effet et remédient un peu aux inconvénients des irrégularités du feu.

Dans les figures 1 et 2, la chambre d'air chaud est petite et ne reçoit, effectivement, que celui qui est fourni par le calorifère, parce que les dispositions adoptées pour le chauffage des amphithéâtres du Conservatoire sont combinées avec celles qu'exigeait la ventilation. Dans ces conditions, l'air chaud devait être directement envoyé dans la chambre ou dans les gaînes de mélange, comme je l'ai expliqué dans des notes précédentes (*Annales du Conservatoire des arts et métiers*, n° 17). Mais, dans d'autres circonstances et quand il ne s'agit que du chauffage qu'il importe de faire avec de l'air à une température modérée, il conviendra de donner à la chambre à air de plus grandes dimensions, et de se ménager le moyen d'y introduire directement de l'air extérieur plus froid. Des registres, convenablement disposés et faciles à manœuvrer, permettront de donner au mélange la température voulue. C'est de ces chambres à air chaud que doivent partir les conduits destinés à le distribuer dans les différentes parties des bâtiments.

Quand les calorifères sont simplement destinés à chauffer les cages d'escaliers, les corridors, les vestibules et autres dépendances des édifices ou des habitations, ce qui convient généralement mieux que de les employer au chauffage immédiat des appartements, les inconvénients de la température élevée de l'air qu'ils fournissent disparaissent presque entièrement, attendu que cet air se mélange naturellement avec celui de ces parties extérieures des lieux habités.

L'on remarquera que, dans les deux calorifères, dont il est ici question, les principaux tuyaux de circulation de la fumée sont

horizontaux. Il en résulte que l'air qui circule dans le calorifère, et qui, par l'action de la chaleur, s'élève verticalement, ne peut, dans son mouvement, toucher que la partie inférieure de leur surface. On verra, par les résultats des expériences, quelle est l'influence de cette disposition.

Le plus petit des deux calorifères essayés a $12^{mq}.50$ de surface de chauffe ou de tuyaux de circulation de fumée. Sa grille a une surface totale de $0^{mq}.4956$; le rapport de la surface totale de chauffe à celle de la grille est donc $\frac{12^{mq}.50}{0^{mq}.4956} = 25.2$. Le diamètre des longs tuyaux horizontaux de fumée est de $0^{m}.26$; leur section est égale à $0^{mq}.0531$.

Le grand calorifère présente, en tuyaux de fumée, une surface de 52^{mq}.; sa grille a $0^{mq}.744$ de surface totale, et le rapport de ces surfaces est égal à $\frac{52}{0.744} = 69.9$. Le diamètre des tuyaux longs est de $0^{m}.20$, et leur section est de $0^{mq},0314$.

En exécutant les expériences, qui ont duré chaque fois dix heures consécutives, l'on a déterminé directement :

1° Les quantités de charbon brûlé, par heure, en marche régulière ;

2° Les volumes d'air introduit dans le foyer, ainsi que ses températures à l'entrée et à la sortie ;

3° Les volumes d'air chaud fourni par le calorifère à cinq ou six mètres de distance de son débouché de l'appareil, ainsi que ses températures à l'entrée, au débouché dans le calorifère, et au débouché dans la chambre du mélange.

De ces données, on a déduit les quantités de chaleur dépensées, celles qui étaient utilisées pour l'échauffement de l'air à introduire dans l'amphithéâtre, et celles qui étaient emportées, sans profit utile, par les gaz produits par la combustion.

Enfin, en comparant ces résultats aux quantités de chaleur dépensées, on a obtenu le rendement calorifique, ou l'effet utile de l'appareil comme moyen de chauffage.

Les résultats des expériences et du calcul sont réunis dans le tableau suivant :

Dans les calculs de ces résultats, l'on a admis, comme pour la cheminée ventilatrice, qu'un kilogramme de houille développait, par sa combustion, 8000 unités de chaleur.

Les quantités de chaleur communiquées aux divers volumes d'air ont été calculées par la formule :

$$Q \times d \times (T' - T)\ 0.237$$

dans laquelle :

Q est le volume d'air écoulé à la température T, à laquelle il a été pris.

d la densité de cet air à cette même température.

T' la température à laquelle il a été élevé.

0.237 la capacité de l'air pour la chaleur.

Pour mesurer la température des gaz produits par la combustion à leur sortie du petit calorifère, l'on a employé un thermomètre métallique de M. Desbordes; mais sa graduation ne s'élevant qu'à 350°, et les gaz fournis par le petit calorifère étant beaucoup plus chauds, il n'a pas été possible d'en déterminer directement la température. L'on s'est contenté, dans le tableau, d'indiquer qu'elle était supérieure à 350° au moyen du signe >.

Quant au grand calorifère, la température des mêmes gaz a été obtenue au moyen d'un thermomètre à mercure ordinaire.

Expériences sur les calorifères du grand amphithéâtre du Conservatoire des arts-et-métiers.

DATES. 1868.	Charbon brûlé par heure.	Chaleur dépensée par heure.	TEMPÉRATURES de l'air extérieur.	TEMPÉRATURES des gaz brûlés.	TEMPÉRATURES de l'air chaud fourni au débouché du calorifère.	TEMPÉRATURES de l'air chaud fourni dans la chambre de mélange.	Chaleur envoyée dans la chambre de mélange.	Rapport de cette chaleur à la chaleur dépensée ou rendement réel.	Volume d'air chaud fourni par heure.	Chaleur utilisée par les calorifères.	Rapport de la chaleur utilisée à la chaleur dépensée ou rendement.	Nombre d'unités de chaleur transmises par m.q. de surface de chauffe.	Volume d'air introduit dans le foyer du calorifère en une heure.	Chaleur emportée par les gaz brûlés.	Rapport de la chaleur emportée à la chaleur dépensée.	Perte de chaleur par la maçonnerie du calorifère.	Charbon brûlé par m. q. de surface de grille.	Volume d'air passé dans le foyer par kilog. de houille brûlée.	Volume d'air chaud introduit par kilog. de houille.	Vitesse de l'air dans le conduit d'air chaud.
PETIT CALORIFÈRE. Surface de chauffe, 12mq.50. Surface de grille, 0mq.4956. Section des tuyaux de circulation de la fumée, 0mq.0531.																				
	kil.	cal.	deg.	deg.	deg.	deg.	cal.		m.c.	cal.		cal.	mq.	cal.		mq.	kil.	mc.	mc.	mèt.
28 mars.	26	208000	+3	> 350	102	90	88860	0.427	3416	101117	0.486	8089	306	> 32491	> 0.156	< 0.358	52.4	11.76	118	3.75
29 id.	26	208000	+3	> 350	106.3	94.1	78926	0.355	2714	83826	0.403	6706	326	> 40049	> 0.191	< 0.406	52.4	12.61		2.90
	26	208000			104.2	92		0.391	3065		0.445						52.4			
GRAND CALORIFÈRE. Surface de chauffe, 52mq.00. Surface de grille, 0mq.744. Section des tuyaux de circulation de la fumée, 0mq.0314.																				
16 mars.	34.3	274400	+ 5	255	89.0	»	»	»	6528	166151	0.600	3195	685	51889	0.180	0.220	46.1	19.97	189	1.91
18 id.	36.6	2280 0	+ 5	268	98.0	»	»	»	6582	184250	0.629	3543	637	51385	0.175	0.200	49.2	17.40		1.95
5 avril.	33.8	270400	+18	239.6	103.0	90.8	154899	0 573	6773	179214	0.660	3446	689	45901	0.170	0.170	45.4	20.40		2.01
	34.9	279200	7.6	254.2	97				6628	176538	0.630		670		0.178	0.197	46.7			

La distance parcourue par l'air chaud depuis le thermomètre inférieur jusqu'à la chambre de mélange = 28 mètres environ.

Conséquences des résultats contenus dans le tableau précédent. — L'effet utile d'un calorifère de ce genre étant évidemment mesuré par le nombre d'unités de chaleur que l'air a acquis en le traversant, le rapport de cette quantité de chaleur, mesurée à peu de distance de sa sortie de l'appareil, à celle qui a été développée par le combustible consommé, constitue ce que l'on peut appeler le rendement calorifique de l'appareil, qui est consigné dans la 12ᵉ colonne.

L'on remarque de suite, à l'examen de cette colonne, que le rendement moyen du petit calorifère ne s'est élevé qu'à 0.445 de la chaleur dépensée par le combustible, tandis que, pour le grand, il a été de 0.630.

La surface de chauffe en tuyaux du petit calorifère n'est que de $12^{mq}.50$, et, sa surface de grille étant de $0^{mq}.4956$, le rapport de ces surfaces est, comme on l'a vu, $\frac{12.50}{0.4956}=25.2$.

Dans le grand calorifère, la surface de chauffe en tuyaux est de $52^{mq}.00$, et la surface de grille est égale à $0^{mq}.744$. Le rapport de ces deux nombres est $\frac{52.00}{0.744}=69.9$.

La quantité de houille brûlée par heure et par mètre carré de surface de grille étant, d'ailleurs, peu différente, on voit que le grand calorifère présente à la chaleur développée par le combustible une surface bien plus grande que le petit : ce qui explique la supériorité de son rendement calorifique immédiat. Cela résulte également de la comparaison des nombres de la colonne 3 avec les surfaces de chauffe en tuyaux, qui montre que le petit calorifère ne présente qu'une surface de $\frac{12^{m}.50}{208}=0^{mq}.0601$ par mille calories, pour absorber la chaleur développée par le combustible, tandis que le grand en offre une de $\frac{52^{mq}.0}{279.2}=0.186$ pour la même quantité de chaleur, c'est-à-dire plus que trois fois autant que le petit.

Il résulte donc de cette première comparaison qu'il y a un grand avantage à donner une très-grande surface de chauffe aux calorifères de ce genre.

L'on remarquera, d'ailleurs, que la proportion adoptée pour

le grand calorifère, dans lequel, comme on l'a dit, la surface des tuyaux intérieurs est égale à 69.9 fois celle de la grille, n'est probablement pas encore la plus convenable, puisque, d'une part, la vitesse de la fumée est encore excessive, que la température de cette fumée était, en moyenne, de 254°.8, et celle de l'air chaud fourni de 97°.

Il y aurait donc, sous tous les rapports, avantage à augmenter encore le développement de surface des tuyaux de fumée placés à l'intérieur.

Le rendement calorifique, dont on vient de parler, est celui qui est obtenu à la sortie de l'air qui a circulé autour des tuyaux dans l'appareil; mais, dans la plupart des cas, les calorifères sont établis dans des caves, et l'air chaud qu'ils fournissent n'est en réalité utilisé qu'à une distance souvent assez grande des appareils. On sait qu'au delà de 15 à 20 mètres au plus de parcours horizontal, leur effet devient peu sensible, ce qui est un de leurs graves inconvénients.

Dans l'amphithéâtre du Conservatoire, l'air chaud sortant du calorifère monte presque immédiatement dans des conduits verticaux, qui le versent, sans un grand parcours horizontal, dans la chambre de mélange.

La longueur totale de ces conduits verticaux est d'environ 23 mètres; ils contiennent les tuyaux de fumée auxquels l'air doit encore emprunter de la chaleur, et cependant l'observation a démontré que l'air chaud qui débouchait dans les chambres de mélange était toujours à une température notablement plus basse que celle qu'il possédait à sa sortie des calorifères. Ainsi la diminution, pour le petit calorifère, était, en moyenne, de 104° à 92°, ou de 12°, soit 0.115, et, pour le grand, de 97° à 90°, ou de 7°, soit 0.072.

L'effet utile, réel, n'étant que la quantité de chaleur effectivement parvenue dans la chambre de mélange, on l'a calculé d'après les températures d'arrivée de l'air, et en comparant les nombres consignés dans la 8e colonne aux quantités de chaleur développées par le combustible (colonne 3), on a trouvé que le rendement réel n'était plus, en moyenne :

Pour le petit calorifère, que. 0.390
Pour le grand calorifère. 0.573

Ces rapports auraient été évidemment plus petits encore si l'air chaud avait dû parcourir de plus longs circuits, ainsi que cela arrive presque toujours.

En résumé, l'on voit, d'après les résultats de ces expériences, que celui des deux calorifères de l'amphithéâtre du Conservatoire qui fonctionne le mieux et qui donne, à cinq ou six mètres du débouché de ses tuyaux de fumée, un rendement de 0.63, a les proportions suivantes :

Surface de chauffe des tuyaux de fumée. .	52^{mq}.
Surface de la grille.	$0^{mq}.744$
Rapport de ces surfaces	$\frac{52}{0.744} = 69{,}9$
Section des tuyaux de fumée.	$0^{mq}.0314$

Des limites qu'il convient d'imposer à la vitesse de circulation de la fumée.— Dans la deuxième série d'expériences, la vitesse des gaz brûlés qui ont passé de la température extérieure moyenne de 7°.6 à celle de 254°, ou d'une densité de 1.275 à celle de 0.671, a été excessive. En effet, le volume d'air introduit a été, en moyenne, de 670^{mc} par heure, ou de $0^{mc}.186$ en 1″, pris à 7°.6. Il s'est dilaté et est devenu $0^{mc}.186 \times \frac{1.275}{0.691} = 0^{mc}.353$. La section des tuyaux étant seulement de $0^{mq}.0314$, cela correspond à une vitesse de $11^{m}.26$ en 1″. Il conviendrait évidemment de la diminuer en augmentant la section des tuyaux, ce qui, sans accroître leur nombre, donnerait une surface de chauffe plus grande, abaisserait la température des gaz évacués, et, par suite, la quantité considérable de chaleur qui est inutilement emportée par ces gaz, et qui s'élève à environ 0.18 de la chaleur totale développée par le combustible.

Sans augmenter les difficultés de la construction de ces appareils, et en accroissant seulement leur volume et leur prix, il paraîtrait donc convenable de donner à ces tuyaux, qui n'ont, dans le grand calorifère, que $0^{m}20$ de diamètre, celui de $0^{m}.300$, ce qui porterait leur section à $0^{mq}.0707$, et réduirait à moins de $5^{m}.00$ par seconde la vitesse de passage. Cette proportion reviendrait à donner aux tuyaux de fumée une section à peu près égale à la surface totale de la grille.

Proportion de la surface de chauffe des calorifères à la capacité des amphithéâtres. — Il convient de faire remarquer, comme je l'ai déjà fait au sujet des salles des hôpitaux, que, dans les amphithéâtres, et dans tous les locaux largement ventilés, la puissance calorifique des appareils de chauffage doit être beaucoup plus grande que dans les lieux où l'air n'est pas aussi abondamment renouvelé.

Dans le cas actuel, où la capacité ventilée de l'amphithéâtre est de 1990^{mc}, et où l'air est habituellement renouvelé 8.24 fois par heure, la surface de chauffe des deux calorifères est :

Pour le petit, de	12^{mq}.50
Pour le grand	52^{mq}.00
Surface totale de chauffe. . . .	64^{mq}.50

Le volume total des locaux chauffés se décompose ainsi qu'il suit :

Amphithéâtre ventilé	1990^{mc}
Dépendances indirectement ventilées par l'appel et par les ouvertures des portes. .	829
	2819^{mc}

Par conséquent, la proportion de la surface de chauffe totale au volume des locaux chauffés et ventilés est égale à $\frac{64^{mq}.50}{2819^{mc}} = 0.022.88$ ou 22^{mq}.88 de surface de chauffe par 1000 mètres cubes de capacité totale.

Le petit calorifère étant, comme on l'a vu, très-inférieur au grand sous le rapport des proportions et des effets calorifiques, on peut admettre que, pour des appareils bien établis, à tuyaux horizontaux, il suffit d'une surface de chauffe de 20^{mq} par 1000^{mc} de capacité pour des locaux abondamment ventilés. C'est, au reste, la proportion que nous avons admise dans le rapport sur les appareils de chauffage employés dans les hôpitaux.

L'expérience de trois années consécutives a d'ailleurs prouvé qu'avec ces proportions, les calorifères à air chaud du Conservatoire ont toujours été suffisants, par les jours les plus froids de l'hiver, pour maintenir, dans le grand amphithéâtre, une température de 19 à 20°, nécessaire quand l'air est activement renouvelé.

Il n'est pas inutile, cependant, de faire remarquer que, dans les cas ordinaires, où il n'y a qu'une ventilation naturelle peu active, une surface de chauffe de 10^{mq} par 1000^{mc} de capacité, suffit pour entretenir une température convenable; mais, en même temps, il convient aussi de rappeler que ces calorifères, de même et plus encore que les autres, sont insalubres, quand leur emploi n'est pas combiné avec celui d'une ventilation énergique et régulière.

De l'ensemble de la discussion qui précède, il me paraît permis de conclure que les calorifères à air chaud, à tuyaux horizontaux, destinés à de vastes locaux et principalement à ceux qui sont abondamment ventilés et pour lesquels on a établi des chambres de mélange d'air chaud et d'air froid, doivent être proportionnés ainsi qu'il suit, en prenant pour base une capacité de 1000^{mc} de locaux chauffés et ventilés :

Surface totale de grille du foyer. .	0^{mq}.28 à 0^{mq}.30	par 1000^{mc}
Surface totale de chauffe des tuyaux de circulation de la fumée. . : .	20^{mq}.	—
Section des conduits de fumée. . .	0^{mq}.0250. . . .	—
Vitesse de l'air chaud dans les conduits qui le distribuent	1^{m}.80 à 2^{m}.00 en 1″.	

CALORIFÈRES A TUYAUX VERTICAUX.

Calorifère à air chaud, à circulation verticale, construit par M. d'Hamelincourt. — Cet ingénieur, comme M. Chaussenot et beaucoup d'autres constructeurs, a adopté, pour les grands calorifères qu'il établit, le mode de circulation de la fumée par des tuyaux verticaux, parce qu'il facilite le contact de l'air affluent avec la surface entière de ses tuyaux, et en utilise mieux la surface de chauffe.

Deux appareils de ce genre, récemment établis à l'école municipale de la rue des Petits-Hôtels, ont été l'objet d'expériences prolongées près de quinze heures, pour en déterminer les effets calorifiques en service continu.

Leur disposition est indiquée pl. 45, fig. 1 et 2, dans lesquelles :

A est la grille circulaire de $0^{mq}.08$ de surface.

B la cloche en fonte formant le foyer, dont la partie inférieure qui reçoit le combustible est garni de briques réfractaires.

C l'orifice de tirage pour l'allumage. Il est muni d'un registre, qui permet, à volonté, de faire passer directement la fumée dans le tuyau d'évacuation, soit quand on allume, soit quand on veut produire la ventilation sans chauffage, comme on l'indiquera plus tard.

D, D . . . . D, fig. 12 et 13, tuyaux verticaux de circulation de fumée, au nombre de cinq, qui la reçoivent par autant de tubulures venues de fonte avec la cloche.

Ces tuyaux, d'un diamètre de $0^{m}.46$, sont traversés, à leur centre, par d'autres EE, de $0^{m}.13$ de diamètre, qui donnent passage à l'air introduit de l'extérieur.

Pour obliger la fumée à parcourir les tuyaux DD, d'abord en descendant, puis en remontant, on les a partagés en deux compartiments *d* et *d'*, séparés par des cloisons méridiennes, qui ne sont prolongées vers le bas que jusqu'à $0^{m}.20$ du fond. Il en résulte qu'une fois le feu allumé et le tirage assuré, lorsqu'on ferme le registre C, la fumée descend, par le compartiment *d*, jusqu'au bas des tuyaux D, et remonte par le compartiment *d'*, d'où elle s'échappe par le tuyau de fumée, qui a $0^{m}.20$ de diamètre.

La cloche et les tuyaux de fumée sont renfermés dans une enveloppe en maçonnerie, dans laquelle pénètre l'air extérieur que l'appareil doit échauffer, et de la partie supérieure de laquelle partent trois conduits qui, pour chacun des calorifères, dirigent cet air vers des gaînes verticales destinées à les répartir dans les divers locaux à échauffer. Chacune des enveloppes des calorifères a des prises d'air grillées qui offrent un passage libre de $0^{mq}.4845$; mais les dispositions prises pendant la construction ont restreint un peu trop les passages intérieurs d'arrivée de l'air dans l'enveloppe. L'un d'eux n'a que $0^{mq}.28$ de section libre, ce qui apporte une gêne à l'introduction ; l'autre a $0^{mq}.44$, ce qui est à peu près égal à l'aire de passage par les grilles.

La surface totale de chauffe de chacun de ces calorifères se compose ainsi qu'il suit :

Cloche	$2^{mq}.80$
Calotte	0 .64
Cinq tuyaux de fumée	17 .53
Cinq tuyaux de circulation d'air.	1 .64
Surface totale. . .	$22^{mq}.58$

La surface totale de la grille est de. . . . . . $0^{mq}.08$

Le rapport des deux surfaces est donc. . . . $\frac{22^{mq}.58}{0^{mq}.08} = 283$

Le volume des salles à chauffer par ces appareils est:

Pour le calorifère du 1er étage, 1488^{mc} pour les classes, et de 1677^{mc} y compris le corridor.

Pour le 2e étage . . . . 1421^{mc}.

Par conséquent, la surface de chauffe allouée pour 1000^{mc} de capacité de ces salles, qui doivent être en même temps ventilées, est, par mille mètres cubes de capacité :

Pour le 1er étage, $\frac{22^{mq}.58}{1,488} = 15.19.$

Pour le 2e étage, $\frac{22^{mq}.58}{1.421} = 15.83.$

Moyenne. . . $15^{mq}.53.$

Cette proportion est inférieure à celle que l'on a déduite *des* observations faites sur le calorifère du grand amphithéâtre du Conservatoire, sur des calorifères à tuyaux horizontaux, moins favorablement disposés, d'ailleurs, que ceux dont il est ici question, et l'on verra que la différence est justifiée par le rendement calorifique des appareils.

Les expériences sur les deux calorifères semblables de l'école de la rue des Petits-Hôtels ont été conduites simultanément et continuées sans interruption, depuis 6 heures 15 minutes du matin, moment de l'allumage, jusqu'à 8 heures 45 minutes du soir, c'est-à-dire pendant 10 heures 30 minutes.

La consommation totale de houille de Charleroi, pendant ce temps, a été:

Dans le calorifère du 1er étage, de 95^k, ou $6^k.55$ par heure.

Dans le calorifère du 2e étage, de 85^k, ou $5^k.86$ —

Depuis le moment de l'allumage jusqu'à 7 heures 15 minutes, où les feux ont été en pleine activité, l'on avait chargé, dans chacun des foyers, environ 16 kilog. de charbon; mais comme, d'une autre part, l'on a cessé les chargements à partir de 4 heures 45 minutes, et que les feux ont conservé une notable activité au delà de 6 à 7 heures du soir, et qu'après les avoir couverts, à la fin de l'expérience, il en est même encore resté un peu jusqu'au lendemain dans l'un des calorifères, l'on a pu, par compensation, comprendre la quantité de charbon introduite, pendant les premiers moments, dans la consommation totale.

Les températures et les volumes de l'air chaud passés dans les gaînes verticales d'introduction des calorifères ont été observés à peu près d'heure en heure, et à douze reprises différentes dans la journée, ce qui a permis de s'assurer de la régularité de la marche des feux, et de prendre, entre les nombres observés, des moyennes suffisamment exactes.

Importance d'un règlement convenable des passages. — L'un des calorifères a, parfois, donné lieu à une remarque assez singulière et dont il est bon de faire mention, quoiqu'elle soit de peu d'influence sur les résultats, parce qu'elle montrera aux constructeurs l'importance de certaines dispositions.

L'on a dit plus haut que de la capacité réservée au-dessus de chaque calorifère, et qui sert de chambre à air, partaient trois conduits dirigeant l'air chaud dans les gaînes verticales de distribution de cet air. Or, dans les deux gaînes les plus éloignées des calorifères, et qui en étaient à 14 ou 15 mètres de distance, il est arrivé, pendant presque toute la durée de l'expérience du 6 mars, que les registres régulateurs des trois gaînes étant complétement ouverts, deux d'entre elles débitaient plus d'air que les prises d'introduction dans le calorifère n'en admettaient, et qu'elles s'alimentaient en partie aux dépens de la troisième, dans laquelle se produisait un courant descendant, venant des salles qu'il s'agissait de chauffer. Le volume d'air ainsi extrait de ces salles, pendant cette expérience, devrait être retranché de celui qui y était introduit par les autres gaînes; mais, comme il ne s'est élevé qu'à 1/78 environ de celui-ci, l'on voit que la correction aurait peu d'importance.

Il a d'ailleurs suffi de fermer en partie les registres des gaînes

qui débitaient trop, pour rétablir une égalité suffisante dans la répartition de l'air, ainsi qu'on l'a constaté le lendemain.

Un effet du même genre, mais plus marqué encore et plus grave, s'était produit pendant la marche simultanée de ces deux calorifères, dans les premiers jours de leur mise en activité, et il est important de le signaler.

Les prises d'air ouvertes à l'extérieur pour les deux calorifères étaient alors communes et insuffisantes, de sorte que celui des deux calorifères qui, par suite d'une plus grande activité du feu ou par d'autres causes, pouvait exercer un appel plus énergique, devait évidemment s'alimenter d'air en plus grande proportion. Mais l'effet ne s'est pas borné là.

Le calorifère du deuxième étage, dont les gaînes étaient nécessairement beaucoup plus hautes que celles du premier étage, débitait un tel volume d'air qu'il s'alimentait en partie aux dépens du premier, et déterminait dans les gaînes de celui-ci un mouvement d'air, en sens contraire, qui, appelé des salles du premier, descendait au travers de ce calorifère, et allait circuler dans l'autre.

Il en résultait que le deuxième étage était surabondamment chauffé, et que le premier ne l'était pas du tout.

Il a suffi d'isoler, par une légère cloison en briques, les deux calorifères pour faire cesser ce mouvement anormal; mais ces exemples prouvent combien il importe de se mettre à l'abri des perturbations accidentelles qui peuvent se produire dans les mouvements de l'air, et de se réserver les moyens d'en régulariser la marche.

Résultats des expériences. — Les résultats des observations faites simultanément sur les deux calorifères, dont il est ici question, sont résumés dans le tableau suivant :

Expériences sur les calorifères à air chaud et à tuyaux verticaux.

Expérience du 6 mars 1866.

TEMPÉRATURE MOYENNE EXTÉRIEURE : 2°.4.

DÉSIGNATION des gaînes.	SECTIONS.	Vitesse moyenne observée en une minute.	Volume d'air fourni par les gaînes en une heure.	TEMPÉRATURE moyenne observée.	TEMPÉRATURE moyenne acquise.	Chaleur fournie par les gaînes en une heure.	Consommation de charbon par heure.	Chaleur dépensée par heure.	Rendement.	Volume d'air introduit par kil. de charbon brûlé.
				CALORIFÈRE DU PREMIER ÉTAGE.						
	mc.	m.	mc.	°	°	cal.	kil.	cal.		mc.
S	0.1800	0.316	204.48	36.38	20.93	1222				
U	0.1881	2.080	1408.32	52.63	53.23	19276	6.55	52400	0.83	484
V	0.2610	1.66	1559.70	64.47	59.07	23298				
		TOTAUX.....	3172.52	61.55		43796				
				CALORIFÈRE DU DEUXIÈME ÉTAGE.						
R	0.1200	— 0.430	— 185.76	20.77	15.37	»[1]				
T	0.1254	2.839	1281.60	59.10	53.70	17783	5.86	46880	0.79	417
X	0.1050	3.080	1164.2	73.53	68.13	19178				
		TOTAUX.....	2116	66.31		36961	6.20	54640		
								MOYENNE.	0.81	

1. L'on a négligé dans le calcul l'influence de ce volume d'air rappelé en sens contraire, attendu qu'il n'est que 1/73 du volume fourni.

Conséquences des résultats précédents. — L'examen de ce tableau montre que le rendement calorifique de ces deux calorifères, dont les dispositions, quant aux prises d'air, laissent quelque chose à désirer, s'élève, en moyenne, à 0.81.

Il convient, d'ailleurs, de faire remarquer que, dans un service courant, le résultat serait nécessairement plus favorable, attendu que les massifs de maçonnerie échauffés la veille conserveraient encore une partie de la chaleur qu'ils auraient absorbée. Ainsi je pense que, pour les calorifères de ce genre, on

peut calculer sur un rendement de 0.85 lorsqu'ils fonctionnent avec continuité.

L'on voit, par ce résultat, que les calorifères à tuyaux verticaux, quand ils sont bien proportionnés, à raison de 15^{mq} de surface de chauffe par 1000^{mc} de capacité des locaux à chauffer, sont d'un usage plus avantageux que ceux où les tuyaux sont disposés horizontalement, puisque ceux-ci n'ont donné, avec une proportion de surface de chauffe de 20^{mq} par 1000^{mc} de capacité des locaux, qu'un rendement calorifique égal à 0.630.

Rendement des calorifères chauffés plusieurs jours de suite.— Lorsque le chauffage a lieu chaque jour, depuis le matin jusqu'au soir, et qu'il est continué le lendemain de la même manière, en ayant, à la fin de la journée, l'attention de fermer les registres de circulation de l'air à travers les calorifères, on peut parvenir à conserver une partie de la chaleur accumulée dans la masse en briques des calorifères; mais il y en a toujours une partie qui est emportée par la circulation de l'air dans les tuyaux de fumée.

Pour reconnaître si la conservation de chaleur que ces précautions peuvent produire est aussi grande que le pensent quelques constructeurs, et capable d'augmenter beaucoup leur rendement calorifique, j'ai fait répéter le 7 mars les expériences qui avaient été faites le 6. L'alimentation du feu ayant cessé le 6 à 6 heures du soir, le 7 au matin, à 6 heures 15 minutes, la température moyenne, dans les gaînes d'air chaud des deux étages qui avaient été fermées, était d'environ 30°.

Le feu a été allumé à 5 heures 50 minutes, et conduit très-modérément pendant toute la journée. Les registres de circulation de l'air chaud ont été ouverts immédiatement après l'allumage. Les observations des vitesses et des températures de l'air chaud dans les gaînes ont commencé à 6 heures 15 minutes, et ont été continuées jusque vers 4 heures du soir. Il a été ainsi fait, dans la journée, huit observations dans chacune des trois gaînes de chaque étage. L'on a eu l'attention de les prolonger même après que le feu avait cessé d'être alimenté, jusqu'à ce que les températures de l'air chaud fourni fussent revenues à 22° environ ; de sorte qu'au moment où elles ont cessé, l'on pouvait regarder la circulation de l'air et l'utilisation de la chaleur

comme ramenées, à très peu près, au même état qu'au commencement de la journée. En calculant, d'après les résultats immédiats des observations, les quantités de chaleur introduites par l'air chaud fourni, et en représentant tous ces résultats par une construction graphique dans laquelle les abscisses étaient les intervalles de temps en heures et fractions décimales d'heures, et les ordonnées les quantités de chaleur correspondantes par heure à ces données d'expérience, l'on a pu, par une quadrature, déterminer approximativement la quantité de chaleur fournie pendant toute la durée des expériences. Connaissant, d'autre part, la quantité de combustible consommé, il a été facile d'en déduire celle de la chaleur dépensée, et par suite le rendement calorifique des deux appareils.

Nous ne croyons pas devoir donner ici le détail de ces calculs. Nous nous bornerons à en faire connaître le résultat.

La consommation des deux calorifères a été, depuis 5 heures 50 minutes, heure de l'allumage, jusqu'à 4 heures du soir, de 70^{k}, soit 35^{k} par calorifère : cette consommation correspond à un développement de $35^{k} \times 8000 = 280000$ calories.

Les quantités de chaleur introduites dans les salles par l'air chaud, depuis le moment de l'ouverture des registres, à 6 heures 15 minutes, jusqu'à celui de leur fermeture, à 4 heures, où la température du courant d'air chaud était redevenue à peu près la même qu'au commencement, ont été :

Pour le calorifère du 1er étage	$237041^{cal.}$
Pour le calorifère du 2e étage.	220023
Moyenne. . .	$228532^{cal.}$

Le rendement de ces deux calorifères a donc été égal à

$$\frac{228532}{280000} = 0.816$$

Ce résultat diffère fort peu, comme on le voit, de celui qui a été obtenu dans les expériences de la veille, prolongées pendant 14 heures, ce qui prouve que, quand on a le soin de bien fermer les registres de circulation d'air chaud, les intervalles, même assez longs, d'un jour à l'autre dans la mise en activité des feux, n'occasionnent pas une grande perte de chaleur par les enveloppes en briques des fourneaux.

En résumé, l'on voit qu'en estimant à 0.80 le rendement de ces calorifères, fonctionnant chaque jour pendant 6 à 8 heures, et à 0.85 ce même rendement, quand ils sont en service régulier tous les jours, pendant 12 heures, on s'éloignera peu de la vérité.

Volume d'air chaud fourni par les calorifères. — Les deux appareils dont nous nous occupons sont employés au chauffage des salles de la rue des Petits-Hôtels. Le 1er étage, occupé par les classes d'enseignement primaire des frères de la Doctrine chrétienne, pouvant contenir 400 enfants, et dont la capacité cubique est de 1488mc pour les quatre salles, et de 1670mc, en y joignant le corridor qui y conduit.

Ces salles sont éclairées par des vitrages assez mal clos, et présentent des surfaces refroidissantes réparties comme il suit :

Surface des murs de façade....	198mq.00	ou	0.144 en tout.
Surface de murs de refend ...	174 .90		0.128
Surfaces de vitrages.......	137 .60		0.100
Surfaces de plancher sur un préau ouvert.............	430 .00		0.314
Surfaces de plafond.......	430 .00		0.314
	1370mq.50	ou	1.000 en tout.

Le 2e étage est destiné à une salle de dessin de 1421mc de capacité, pouvant recevoir 200 élèves, et présentant les superficies refroidissantes ci-contre :

Murs de façade	176mq.22	ou	0.189 en tout.
Murs de refend..........	174 .90		0.188
Vitrages	82 .10		0.088
Planches du 1er étage	249 .26		0.268
Plafond sous grenier ouvert...	249 .26		0.268
	931mq.74	ou	1.000 en tout.

Les salles devaient être ventilées à raison de 10mc par élève, et, par conséquent, dans celles du premier étage, l'air devait être renouvelé à raison de 4000mc par heure, et, dans celle du deuxième étage, à raison de 2000mc.

Les résultats consignés dans le tableau précédent montrent

que les volumes d'air chaud fourni par les calorifères, dans les expériences du 6 mars, ont été :

Pour le 1er étage, de . . 3172^{mc}, à la températ. moy. de 61°55.
Pour le 2e étage, de . . 2466 — de 66°.31.

Mais il convient d'ajouter que les gaînes verticales, dans lesquelles on a fait l'observation, débouchent, à chaque étage, dans un couloir horizontal établi le long du plafond, et dans lequel des ouvertures ménagées à l'extérieur permettent aussi l'introduction de l'air frais, afin de modérer la température de celui qui afflue dans les salles; ces ouvertures ajoutent donc de l'air frais à l'air chaud du calorifère, et, par conséquent, le volume total d'air nouveau atteint et dépasse même les chiffres précédents.

La température extérieure a varié, le 6 mars, depuis le matin, à 5 heures 15 minutes, où elle était de + 2°.5, jusqu'à 8 heures 45 minutes, où elle a été de + 7°, et sa valeur moyenne a été de 5°.4.

Au premier étage, les frères avaient ouvert un grand nombre de fenêtres, et la température extérieure n'en a pas moins été maintenue, en moyenne, dans leurs salles, à plus de 16°.

Au deuxième étage, où les fenêtres étaient fermées, la température a été maintenue, en moyenne, à 18°, ce qui était plus que suffisant.

Des observations, répétées à diverses reprises, ont d'ailleurs montré que le calorifère des salles du premier étage suffisait facilement pour y assurer une température moyenne de 15 à 16°, lorsqu'il était allumé depuis 5 heures du matin jusque vers midi, en consommant environ 40 à 45 kilog. de charbon, quoique le matin, pour le balayage, et plus tard dans les intervalles des classes et pendant les récréations, l'on ait conservé l'habitude inutile d'ouvrir les fenêtres pour aérer les salles. Cet usage, qui en refroidit notablement l'intérieur et contrarie le chauffage, devrait être abandonné pour des lieux où l'air est renouvelé par une ventilation abondante.

Quant au calorifère du deuxième étage, toutes les fois qu'il a été allumé, il a toujours également assuré, dans la salle de dessin, une température convenable.

Quantité de chaleur nécessaire pour chauffer 1000^{mc} *de capacité*

d'une salle d'école ventilée. — En comparant les quantités de chaleur que les deux calorifères essayés peuvent amener dans les salles auxquelles ils sont destinés, on peut former le tableau suivant :

DÉSIGNATION des CALORIFÈRES.	Quantité de chaleur fournie par heure.	Capacité totale des salles.	Quantité de chaleur suffisante pour chauffer 1000^{m} de capacité.	Consommation de charbon par heure et par 1000^{mc} de capacité.
	cal.	mc.	cal.	kil.
Premier étage.....	43796	1.677	26116	3.90
Deuxième étage....	36961	1.421	26010	4.10
		Moyennes.....	26063	4.00

Il résulte de cette comparaison que, dans les conditions particulières de ces salles, où l'air est renouvelé, pour le premier étage, environ 2.38 fois par heure, et, pour le deuxième, 1.76 fois, une quantité de chaleur de 26063 calories, introduite par heure et par 1000^{mc} de capacité, suffit moyennement, quand la température extérieure est de $+5°.4$, pour y entretenir celle de 16 à 18°, et qu'elle peut être obtenue avec des calorifères à air chaud ayant environ 15 à 16^{mq} de surface de chauffe par 1000^{mc} de capacité des salles, en brûlant par heure, en moyenne, d'un service continu de 12 heures, au plus 4 kilog. pour la même capacité.

L'on remarquera que la quantité de chaleur nécessaire, par 1000^{mc} de capacité, pour élever de 11 à 12° la température des salles de l'école qui nous occupe, et où l'air est renouvelé environ deux fois par heure, est considérablement moindre que celle qui a été trouvée dans les expériences faites, dans la salle du Conseil du Conservatoire, avec des poêles qui ne produisaient aucune ventilation, où l'on a été conduit à attribuer à cette quantité de chaleur une valeur double et égale :

Avec le poêle en faïence, à . . . . 56515 calories.
Avec le poêle du modèle des écoles, à . . . 55411

Chaleur moyenne dépensée par 1000^{mc} de capacité. . . . . 55963 calories.

Cette dernière estimation est, très-probablement, assez notablement exagérée, parce que l'impression désagréable de chaleur éprouvée par les observateurs les obligeait souvent à sortir et à entr'ouvrir une porte, quoique la température à la partie inférieure de la salle n'ait pas dépassé 20°. Mais, malgré cette observation, il n'en est pas moins certain qu'il résulte de cette comparaison ce fait remarquable et important, que, pour maintenir dans un local présentant d'assez grandes surfaces refroidissantes en vitrages, en plafond sous grenier et modérément ventilé, où l'air ne serait renouvelé que deux ou trois fois par heure, une température convenable, il faudrait dépenser moins de chaleur que si le même local n'était pas ventilé.

L'explication de ce fait, en apparence anormal, se trouve dans l'inégalité considérable des températures à différentes hauteurs au-dessus du sol. On conçoit, en effet, que, quand le plafond est froid, qu'il est en partie ou en totalité formé par un vitrage, quand les fenêtres montent très-haut, les couches d'air supérieures donnent lieu à une déperdition de chaleur d'autant plus grande qu'elles sont plus chaudes, et par conséquent supérieures à celle qui a lieu quand, par l'effet de la ventilation, il se produit une circulation qui établit à très-peu près une égalité de températures moindres entre toutes les couches.

Il peut donc arriver souvent, selon les dispositions des lieux et l'activité donnée à la ventilation, qu'outre les avantages obtenus au point de vue de la salubrité, il y ait économie de combustible à opérer le renouvellement de l'air.

Le fait que je viens de signaler est, d'ailleurs, confirmé par des observations directes, dans la même salle, dans des conditions à peu près analogues, en février et mars 1865, lors des expériences sur la cheminée ventilatrice. On a, en effet, constaté alors que l'introduction par l'air chaud fourni par cette cheminée, d'une quantité de chaleur d'environ 6755 calories, suffisait, avec le rayonnement direct produit par la combustion, pour y élever uniformément la température intérieure de 10° au-dessus de celle de l'air extérieur.

En admettant donc qu'on ait élevé cette température de 12° au-dessus de celle de l'air, ce qui est la limite supérieure obtenue à fleur du sol dans les expériences faites avec les poêles, la quantité de chaleur introduite par l'air chaud fourni par la che-

minée n'aurait dû être encore que de $\frac{12}{10} \times 6756 = 8107$ calories par heure, ce qui, pour la capacité de 270^{mc}, correspond à 30070 unités de chaleur pour 1000^{mc} de capacité. Ce chiffre dépasse notablement celui de 26063, qui a été fourni par les expériences faites aux écoles de la rue des Petits-Hôtels; mais il faut remarquer que, dans la salle du Conseil, le volume évacué a été, en moyenne, de 800 mètres cubes par heure, ce qui correspondait à un renouvellement intégral effectué $\frac{800^{mc}}{270^{mc}} = 2.90$ fois par heure, tandis que, dans les écoles, il ne s'est élevé qu'à 2.38, et à 1.76 fois seulement par heure.

Si l'on admet, comme suffisamment exacte, cette évaluation de 26000 unités de chaleur, moyennement nécessaires pour chauffer et ventiler, à raison d'un renouvellement de l'air opéré deux fois par heure dans des locaux analogues aux écoles qui nous occupent, et si l'on estime seulement à 0.65 le rendement calorifique des calorifères ordinaires, la quantité de chaleur à dépenser serait égale à $\frac{26000}{0.65} = 40000$ calories par heure, ce qui correspond à 5 kilog. de charbon de bonne qualité à brûler par heure et par 1000^{mc} de capacité des salles.

Or, dans les expériences du 6 mars, la dépense pour le chauffage seulement a été, en moyenne, de 4^{k}.00 par 1000^{mc} de capacité, et des expériences directes de ventilation, dont il sera question plus tard, ont montré qu'il suffit de brûler, sur la grille d'appel, 1^{k}.60 de charbon par heure pour assurer le renouvellement de l'air pris du dehors deux fois par heure.

Enfin, il n'est pas inutile de rappeler que les résultats du service courant du chauffage et de la ventilation dn Conservatoire des arts et métiers ont conduit à cette conséquence : Que le chauffage y exige, par 1000^{mc} de capacité, une consommation de 35 à 40^{k} de houille par 12 heures, ou 2^{k}.77 à 3^{k}.33 par heure, et que l'évacuation et le renouvellement de 1000^{mc} d'air par heure exige 12 à 15^{k} de houille pour 12 heures de service, ou 1^{k}.00 à 1^{k}.25 par heure.

De sorte que le chauffage de 1000^{mc} de capacité, et le renou-

vellement de 1000^{mc} deux fois par heure, y occasionneraient une consommation comprise entre 4^{k}.77 et 5^{k}.33.

Ce qui s'éloigne peu des résultats obtenus à l'école de la rue des Petits-Hôtels, où les surfaces refroidissantes de vitrage sont en bien plus grande proportion.

Légende de la planche 45.

Fig. 1. Coupe verticale } de la cheminée ventilatrice.
Fig. 2. Élévation } de la cheminée ventilatrice.
Fig. 3. Plan } de la cheminée ventilatrice.
Fig. 4. Coupe du poêle Gurney.
Fig. 5. Plan de la moitié du poêle Gurney.
Fig. 6. Coupe du poêle Chaussenot.
Fig. 7. Plan de la moitié du poêle Chaussenot.
Fig. 8. Coupe d'un poêle en fonte à circulation d'air.
Fig. 9. Plan de la moitié du poêle à circulation d'air.
Fig. 10 et fig. 11. Coupe du calorifère à tuyaux horizontaux.
Fig. 12. Plan du calorifère à tuyaux verticaux.
Fig. 13. Coupe du calorifère à tuyaux verticaux.

MÉMOIRE

SUR LES

POUVOIRS THERMO-ÉLECTRIQUES DES CORPS

ET SUR LA CONSTRUCTION

DES PILES THERMO-ÉLECTRIQUES,

PAR M. EDMOND BECQUEREL.

I

Courants thermo-électriques observés dans un circuit composé d'un seul métal.

La découverte de la thermo-électricité, par Seebeck, en 1821[1], a donné un mode de dégagement d'électricité dont l'étude offre d'autant plus d'intérêt qu'elle lie entre eux deux agents, électricité et chaleur, dont les effets sur les corps sont dus probablement à des mouvements vibratoires des molécules de matière; en outre, les phénomènes thermo-électriques ont conduit à des modes d'évaluation des températures les plus délicates et les plus précises que possède la physique, depuis les températures les plus basses jusqu'aux températures les plus élevées, dans des circonstances où les thermomètres ordinaires ne pouvaient être employés[2].

1. *Mém. de l'Acad. de Berlin*, t. IX, p. 265. 1822-1823. *Extrait des communications faites à l'Académie* les 16 août, 18 et 25 octobre 1821, et 11 février 1822.

2. *Ann. de chimie et de physique.* 2e série, t. XXXI, p. 371 ; t. LIX, p. 113. Becquerel, *Traité d'électricité*, en 7 volumes, t. IV et VI. *Ann. du Conservatoire des arts et métiers*, t. IV, p. 597.

Les effets électriques observés dans un circuit composé d'un seul métal sont les plus simples; ils permettent de se rendre compte des circonstances nombreuses qui peuvent donner naissance à la production d'un courant thermo-électrique.

Ces effets ont été étudiés d'abord en 1823 par M. Becquerel, qui a énoncé les conditions générales dans lesquelles on les observe, et a fait voir qu'on pouvait les obtenir dans des circuits formés d'un seul métal, mais ce dernier pouvant être d'une substance ou d'une autre. Il publia à cette époque un mémoire ayant pour titre[1] : *Du développement de l'électricité par le contact de deux portions d'un même métal dans un état suffisamment inégal de température*, dans lequel il fit voir qu'en mettant en contact deux bouts d'un même fil, soit de platine, d'argent, de cuivre, de laiton, dont l'un avait été préalablement chauffé, il se produisait un courant électrique, et il montra que ce courant provenait bien de l'inégalité dans la température des parties en contact, et non pas d'une oxydation ou altération superficielle d'un des fils; cette dernière cause d'erreur pouvait parfois intervenir, mais quand on s'en garantissait on observait les mêmes effets.

Plus tard[2] il revint sur le même sujet dans un mémoire, où il s'occupa du pouvoir thermo-électrique des métaux et de leur comparaison, et dans lequel il chercha à établir que chaque métal a un pouvoir thermo-électrique propre.

Il s'occupa spécialement des courants électriques obtenus dans un fil de platine homogène en un point duquel on faisait un nœud, ou bien où l'on formait une spirale sans rompre le fil. En chauffant alors le fil à droite ou à gauche de la spirale, on avait un courant allant directement du chaud au froid, c'est-à-dire que la masse qui s'échauffait moins était positive par rapport à la partie chauffée du fil. Il posa alors en principe que pendant la propagation de la chaleur dans un corps, si cette propagation se fait de la même manière tout autour du point échauffé, aucun effet ne se manifeste; mais que si la propagation se fait d'une manière dissymétrique, aussitôt il y a courant électrique produit. Cette manière d'expliquer les faits avait l'avantage d'établir

1. *Ann. de chimie et de physique*, 2e série, t. XXIII, p. 135. 1823.

2. *Ann. de chimie et de physique*, t. XLI, p. 353 (1829). Becquerel et E. Becquerel, *Traité d'électricité*, en trois volumes, t. I, p. 157.

une relation très-curieuse entre le mouvement de la chaleur et le dégagement de l'électricité; on pouvait concevoir même comment, dans un circuit fermé composé de deux métaux différents, si l'on élève la température d'une des surfaces de jonction, et que l'action de la chaleur ne donne pas lieu à des effets identiques dans chaque métal, il en résulte des effets électriques plus ou moins énergiques.

Depuis cette époque, différents physiciens se sont occupés du même sujet, et ont cherché à démontrer que le principe précédent n'expliquait pas les phénomènes observés dans les différents métaux isolés; parmi les mémoires publiés je citerai ceux de MM. Mousson[1], Magnus[2] et Gaugain[3]. Les résultats de leurs observations les ont conduits à conclure que l'écrouissage, ou l'état physique différent des parties en présence, était cause du dégagement d'électricité observé et non pas la propagation inégale de la chaleur dans les corps. Bien que dans ce travail je n'entreprenne pas de traiter ce sujet sur lequel je compte revenir plus tard, je dois dire que je pense que le mouvement du flux calorifique est cause du dégagement de l'électricité, sans vouloir exprimer cependant que la différence de conductibilité des parties échauffées est seule cause du courant électrique observé; mais la juxtaposition de deux parties d'un même corps à deux températures différentes peut, en raison de cette différence dans la température, mettre ces deux parties dans des conditions diverses, comme pouvait le faire l'écrouissage, la torsion ou la tension.

II

Courants thermo-électriques dans des circuits dont des liquides font partie.

L'hypothèse précédente ne paraît pas devoir s'appliquer aux liquides, et il semble que l'état solide soit nécessaire pour observer des effets dans un circuit composé d'une même substance.

1. *Arch. de l'électricité*, Genève. t. IV, p. 4 (1844).

2. *Annales de Poggend*, t. LXXXIII, p. 469, et *Ann. de chimie et de physique*, 3e série, t. 34, p. 105 (1851).

3. *Ann. de chimie et de physique*, 3e série, t. LXV, p. 5 (1862).

Cependant, comme on va le voir, entre un solide et un liquide il peut se produire des effets thermo-électriques.

M. Matteucci[1] a montré qu'entre le mercure chaud et le mercure froid il ne se produisait aucun effet électrique; ce fait a été vérifié depuis par plusieurs expérimentateurs. J'ai observé qu'il en était encore de même avec d'autres liquides; ainsi, en adoptant la disposition indiquée fig. 1 et prenant un tube en verre ABC qui établit la communication entre deux vases L, L', on peut mettre un même liquide dans les deux vases et dans le tube. Ce tube porte un renflement en B, de sorte qu'on peut élever la température du liquide à droite ou à gauche de B, en *a* ou en *b*. La disposition adoptée fait que les lames de platine ou d'or plongées en L et en L' ne reçoivent aucune action calorifique, et dans ce cas il n'y a aucun effet électrique observé dans le circuit dont LABCL' fait partie.

Il n'en est pas de même si l'élévation de température se fait sentir aux électrodes métalliques plongées dans les liquides; alors, aussitôt qu'elles sont à une température inégale, en général la lame échauffée prend aux liquides l'électricité positive. Le mercure se comporte de même par rapport aux métaux comme le platine, le cuivre, le fer, l'antimoine, etc.; mais cette substance est positive par rapport au palladium, au nickel, au cobalt et au bismuth. Avec les liquides comme l'eau acidulée, les dissolutions de sulfate de chlorure de cuivre, etc., en général, du côté échauffé le liquide est négatif, et les conducteurs comme le platine, le charbon, le cuivre, sont positifs.

Ce sujet a été étudié il y a plusieurs années par M. Wild[2], et il a reconnu, entre des liquides en contact, l'existence de courants ayant une origine thermo-électrique. Il a donné la mesure de la force électro-motrice entre plusieurs dissolutions, et a reconnu que jusqu'à 50° de différence de température, cette force électro-motrice était sensiblement proportionnelle à la différence de température des liquides en contact.

J'ai fait usage de la disposition suivante pour observer ces effets et les comparer aux forces électro-motrices qui seront mesurées à la fin de ce travail :

1. *Biblioth. univ. de Genève*, nouvelle série, 1837, t. XII, p. 211, et t. XIII, p. 199 (1837).

2. *Ann. de chimie et de physique*, 3e série, t. LIII, p. 470.

ABCDEFG est un tube courbé deux fois en haut et trois fois en bas, de façon à présenter trois tubes en U communiquant l'un à l'autre. En C et E le tube est ouvert afin que la pression atmosphérique puisse s'établir dans chaque branche, et, comme on va voir, que l'on puisse verser de chaque côté un liquide différent. Cette disposition permet de placer partout la même dissolution, ou bien de mettre en DEF un liquide assez dense, comme l'eau salée, l'acide azotique, etc., puis de verser avec précaution en C un liquide moins dense, comme l'eau, une dissolution de potasse, etc., de façon à avoir un circuit liquide, présentant dans la partie D la séparation des deux dissolutions. En A et en G on peut mettre deux électrodes en platine, cuivre, charbon, etc. On voit qu'on peut échauffer séparément la partie D, en plongeant la partie courbée D du tube dans un vase VV' qui contient de l'eau à 100°; dans ce cas, les lames métalliques en A et G ne sont pas échauffées. On peut également laisser D à la température ordinaire et plonger les coudes B et F dans des vases contenant de l'eau dont on élève plus ou moins la température.

Voici quelques-uns des résultats qui ont été observés. On s'est servi de galvanomètre à fil long, de sensibilité différente, pour apprécier l'effet électrique produit; si le courant est plus énergique, on prend un multiplicateur moins sensible. Dans chaque série d'expérience, le premier liquide est le plus dense, ou placé en DEF; la température de la partie courbe D a été portée de 10 à 80° environ :

ÉLECTRODES.	LIQUIDES renfermés dans le TUBE.	Direction du courant électrique initial.	Effet produit par une élévation dans la température de la partie D du tube.
1°. Deux électrodes en platine.	Dissolution saturée de sulfate de cuivre .... Eau acidulée par l'acide sulfurique au 1/20	+ —	Le courant initial augmente de 1/4 d'intensité pour une différence de 65 à 70° de température.
2°. Deux électrodes en platine	Dissolution de chlorure de sodium, rendue alcaline par la potasse .... Eau acidulée par l'acide chlorhydrique	— +	Le courant initial augmente de 3/11 de sa valeur pour 60° degrés de différence de température.
3°. Deux électrodes en charbon.	Acide azotique concentré. Dissolution de potasse au 1/10...............	+ —	Pour une différence de 50° de température, l'intensité du courant initial augmente de 1/9.
4°. Deux électrodes en platine.	Dissolution de sulfate de cadmium........... Dissolution d'ammoniaque étendue de chlorhydate.	+ —	Pour 75 ou 80° de différence dans la température, l'intensité du courant initial augmente de 1/3.
5°. Deux électrodes en platine.	Dissolution de persulfure de potassium........ Dissolution étendue de sulfate de potasse.......	— +	Le courant initial est très-énergique; en chauffant D de 15 à 100°, l'intensité de ce courant n'augmente pas sensiblement.

On voit que le sens du courant produit est tel que le courant électrique initial augmente en général d'intensité; mais, avec la dernière disposition, en faisant usage de sulfure de potassium, l'effet n'a pas été appréciable. Ce courant a-t-il une origine thermo-électrique, ou bien l'effet électro-chimique en vertu duquel le courant initial est produit augmente-t-il avec la température? C'est ce que l'on ne peut dire d'après ces seules expériences.

Si, au lieu d'élever la température de la partie D du tube, on la maintient constante, et que l'on échauffe ou le tube B ou le tube F, l'une des dissolutions seule est échauffée, mais en

même temps la lame qui s'y trouve plongée est aussi échauffée. L'action de la chaleur détermine alors la production d'un courant qui me paraît avoir une origine thermo-électrique. Dans la plupart des cas, la lame métallique échauffée prend l'électricité positive par rapport au liquide ambiant, qui prend l'électricité négative. Ces actions ne paraissent pas électro-chimiques, car on les observe avec des lames de platine, des tiges en charbon, tout aussi bien qu'avec des électrodes en cuivre, en fer, etc. Cependant il y a des cas où les actions sont très-faibles; ainsi avec la disposition présentée dans la cinquième expérience précédente, en échauffant la lame plongée dans le sulfure de potassium, l'effet électrique n'a pas paru appréciable.

En plaçant dans un tube horizontal AB (*fig.* 3) une dissolution neutre de sulfate de cuivre, et en fixant deux bouchons aux extrémités pour maintenir le liquide, mais de façon à faire pénétrer deux fils de cuivre de chaque côté pour servir d'électrodes, en maintenant un des côtés B à 0°, l'autre côté A étant porté à 100°, au moyen d'un appareil qui sera cité ci-après (*fig.* 5), le mélange des couches liquides inégalement chaudes ne peut avoir lieu, et on a un courant constant correspondant à une force électro-motrice égale à 0,054 de celle d'un couple hydro-électrique à sulfate de cuivre. Ainsi, il faudrait donc environ dix-huit couples thermo-électriques semblables au précédent pour être équivalents en force électro-motrice à un élément hydro-électrique à sulfate de cuivre, ou bien trente couples pour obtenir le même effet qu'avec un couple à acide azotique. Dans chacun de ces couples il est intéressant de remarquer que le fil de cuivre du côté échauffé prenant l'électricité positive, ce fil est dans l'intérieur de ce couple le pôle négatif, et que si la dissolution se décomposait par l'action du couple lui-même, le cuivre devrait se déposer sur ce fil.

III

Force électro-motrice des couples thermo-électriques formés avec les métaux et les alliages.

Toutes les recherches qui ont été faites ont montré que l'état physique des corps constituant les circuits thermo-électriques avait une influence souvent aussi grande que la nature même de

ces corps; ainsi, en jetant les yeux sur les séries thermo-électriques où les corps conducteurs se trouvent placés suivant la direction des courants électriques produits quand ils sont en contact l'un ou l'autre[1], séries qui se rapportent surtout aux minéraux naturels, comme les sulfures, oxydes, etc., on peut voir combien sont grandes les différences observées.

D'après les observations très-intéressantes de M. Marbach[2], la forme cristalline, dans une même substance, peut modifier seule le pouvoir thermo-électrique; il a trouvé, en effet, que le sulfure de fer FeS^2 et le cobalt gris $CoS + CoAS^2$, qui présentent l'hémiédrie, conduisent à ce résultat, que les cristaux de chacune de ces deux espèces chimiques se divisent en deux classes, les uns étant plus négatifs que le bismuth, les autres plus positifs que l'antimoine. En outre, comme on le sait, dans les métaux cristallins, comme le bismuth et l'antimoine, les effets thermo-électriques sont différents suivant la direction que l'on considère par rapport aux cristaux soumis à l'expérience.

J'ai voulu voir comment, dans les combinaisons que l'on peut produire à volonté entre les métalloïdes et les métaux, et dans les alliages, varie la force électro-motrice des couples. Déjà à deux reprises, il y a un an[3], j'ai communiqué des extraits de mes recherches à l'Académie des sciences, et surtout ce qui avait trait à l'emploi du sulfure de cuivre dans les piles thermo-électriques; le travail actuel renferme l'ensemble de ces observations.

Voici comment les déterminations expérimentales ont été faites : on a formé avec chaque matière à essayer (sous forme d'un barreau ou d'une tige de 15 à 20 et même 30 centimètres de longueur et de 2 à 4 millimètres jusqu'à 10 millimètres de diamètre, suivant la conductibilité) et avec des fils de cuivre recuits, toujours de la même manière, un couple thermo-électrique ABC (*fig.* 1), la partie C comprenant le rhéomètre et pouvant avoir telle longueur que l'on veut. Les fils de l'appareil mesureur, qui était un magnétomètre, étant en cuivre, la diffé-

1. *Ann. de Pogg.*, t. LXII, p. 197. *Archives de l'électricité*, t. IV, p. 590. 1844. *Biblioth. univ. de Genève*, nouvelle période, t. XXIV, p. 352. 1866.

2. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XLV, p. 737, 1857.

3. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, février 1865, t. LX, p. 313, et juillet 1865, t. LXI, p. 146.

rence de température entre A et B dans le couple AB donnait seule l'effet électrique observé. On aurait pu, en portant les deux jonctions A et B aux températures T et T', d'après une loi importante des courants thermo-électriques donnée par mon père[1] et vérifiée depuis lui, chercher quelles seraient les intensités des courants F et F', en portant successivement chacun des contacts à T et à T'; l'autre étant à 0, et F' — F aurait représenté l'effet observé. Mais j'ai mieux aimé prendre, pour les températures, 0° et 100°, et opérer toujours avec la même différence de température.

On pourrait avoir d'autres résultats entre d'autres limites de température; car les pouvoirs thermo-électriques des métaux ne varient pas de la même manière sous l'influence de la chaleur, et même, comme on le sait, il y a des couples qui, pour certaines différences de température, donnent des courants électriques qui ne présentent pas la même direction; mais j'ai pensé que la différence de 0 à 100 était en même temps très-facile à observer exactement, et assez élevée pour donner des forces électro-motrices un peu grandes.

L'appareil dont j'ai fait usage se compose de deux vases cubiques en fer blanc M et N (*fig.* 5), de 12 centimètres de côté; l'un, ouvert à sa partie supérieure N, est rempli de glace, et une ouverture pratiquée à la base laisse écouler l'eau qui provient de la glace fondue; l'autre, M, est percé de deux orifices E et E' au moyen desquels la vapeur d'eau bouillante, provenant d'un vase V, peut circuler librement. Le cube N est donc maintenu à 0 et M à 100°. Deux tubes en fer blanc AB, CD, de 5 à 6 centimètres de longueur, sont fixés aux deux cubes, de façon à pénétrer jusqu'au milieu de ces cubes, et, comme leurs bords sont soudés à la face antérieure du vase dont ils font partie, ils n'établissent pas la communication entre l'extérieur et l'intérieur des vases; ainsi le fond A du tube AB peut être considéré comme toujours à 100° pendant l'expérience, et le fond C à 0°. La barre métallique *ab*, que l'on veut soumettre à l'expérience, est engagée à chaque extrémité dans les tubes AB, CD; mais, pour que cette barre ne touche pas aux parois des cubes, des tubes en verre, arrondis au fond, sont mis dans les tubes en fer blanc AB, CD, et

1. *Ann. de chimie et de physique*, 2ᵉ série, t. XXXI, p. 380. 1826.

c'est dans les tubes en verre que sont engagées les extrémités *a* et *b* de la barre. Des fils de cuivre *ma*, *nb* sont fixés à chaque extrémité de la tige *ab;* de la ouate est placée entre les parois des tubes de verre et la tige, de façon à fermer l'orifice de ces tubes afin que le refroidissement de *a* et l'échauffement de *b* ne puissent avoir lieu par le mouvement de l'air extérieur. On a donc toute garantie pour être assuré qu'au bout de quelque temps les jonctions du couple thermo-électrique, métal-cuivre, sont bien à 0° et 100°.

Pour pouvoir comparer les intensités du courant thermo-électrique produit par différentes matières en contact avec le cuivre, il faut opérer dans les mêmes circonstances de conductibilité du circuit, sans quoi l'on n'aurait pas des nombres proportionnels à la force électro-motrice des différents couples. On a pris alors un couple thermo-électrique normal, bismuth-cuivre, dont les extrémités ont été toujours maintenues à 0° et 100°, et l'on a comparé tous les couples essayés à ce couple normal; mais, pour que la comparaison ait lieu avec le même pouvoir conducteur, on a placé le couple dont on cherche la force électro-motrice X, et le couple normal N, dans le même circuit, en s'arrangeant pour que successivement les courants des deux couples aient lieu dans le même sens et en sens contraire. Le magnétomètre indique dans les deux cas les intensités I et I' des courants. Or, dans les circuits métalliques, la température restant sensiblement la même, la conductibilité électrique ne change pas pendant le cours d'une même observation, et comme il n'y a pas de polarisation comme avec les liquides, la loi simple de la pile $I = \frac{E}{R}$ peut s'appliquer, et les forces électro-motrices sont proportionnelles aux intensités observées. Ainsi l'on a :

$$X + N = I$$
$$X - N = I'$$

et, dès lors, connaissant la somme et la différence des forces électro-motrices X et N, on a :

$$X = \tfrac{1}{2}(I + I') \text{ et } N = \tfrac{1}{2}(I - I'),$$

d'où

$$\frac{X}{N} = \frac{I + I'}{I - I'}.$$

M. Matthiessen[1] s'était déjà servi de ce procédé qui est simple et facile.

Le couple normal N est précisément celui dont M. Pouillet avait fait usage dans ses recherches sur les lois du dégagement de l'électricité dans la pile. Il a été comparé très-exactement avec un couple hydro-électrique à sulfate de cuivre (cuivre, sulfate de cuivre; zinc amalgamé, sulfate de zinc), et j'ai trouvé que le premier valait 0,004826 du second, c'est-à-dire qu'il fallait 207,2 couples thermo-électriques semblables au couple normal dont les surfaces de jonction sont 0° et 100° pour donner la même tension qu'un couple hydro-électrique à sulfate de cuivre.

Il faut aussi indiquer quel est le sens attribué au courant électrique produit; si, en chauffant une des jonctions A du couple thermo-électrique (*fig.* 4), le courant électrique circule dans le rhéomètre R, de façon que le corps AB prenne l'électricité positive et le fil de cuivre adjacent l'électricité négative, le courant ira du cuivre au corps AB à travers le contact, et on prendra le sens du courant du couple avec le signe +. Si l'effet est inverse, on donnera le signe — au courant. D'après cette supposition, les corps comme l'antimoine, le tellure, etc., sont dits *positifs* par élévation de température par rapport au cuivre, et les corps comme le *bismuth*, le *nickel*, sont dits *négatifs*.

Seebeck, dans son travail publié en 1822, a essayé un grand nombre de métaux et d'alliages réunis ensemble pour former des couples thermo-électriques; il n'a pas donné de mesures, mais il a indiqué le sens du courant électrique produit. En étudiant un grand nombre d'alliages de bismuth, d'antimoine, d'étain et de zinc, il a vu que le zinc, bien que moins positif que l'antimoine, cependant allié à l'antimoine, donne des alliages plus positifs que celui-ci. Il a cité l'alliage formé par 1 partie d'antimoine et 3 de zinc, comme étant moins positif que l'antimoine, tandis que celui à parties égales l'est plus, ainsi que celui formé par 3 antimoine et 1 zinc.

D'un autre côté, l'alliage de 3 bismuth et 1 zinc est moins positif que l'antimoine; mais dans la série thermo-électrique, ce corps peut être placé entre l'antimoine et l'acier. Ces exemples montrent que les propriétés thermo-électriques des alliages

1. *Ann. de chimie et de physique*, 3e série, t. LIV, p. 251.

ne sont pas toujours en rapport avec celles des éléments constituants.

Il a vu aussi que quelquefois une substance portait son caractère thermo-électrique dans ses alliages, et que son pouvoir thermo-électrique était alors peu différent du pouvoir thermo-électrique de ceux-ci : ainsi les alliages de nickel et de cuivre, ou de nickel cuivre et zinc (maillechort, argentan, etc.) sont presque aussi négatifs que le nickel, quoique un peu moins.

D'un autre côté, on sait que l'écrouissage et le recuit d'une même substance modifient beaucoup son pouvoir thermo-électrique, et cela suivant la nature de la matière. Ainsi le fer et l'acier sont plus positifs quand ils sont recuits que trempés ; le cuivre et l'argent, au contraire, quand ils sont écrouis, sont plus positifs qu'auparavant[1]. La présence dans une tige métallique d'une petite quantité de matière peut également produire des changements appréciables, puisque, d'après M. Joule[2], l'acier est moins positif que le fer, et que la fonte l'est encore beaucoup moins et est même négative par rapport au cuivre, de sorte que des couples fer-cuivre, fonte-cuivre, donnent des courants inverses l'un de l'autre.

Les matières fondues, comme l'antimoine, peuvent présenter un accroissement d'effet; on en citera plus loin des exemples à propos des actions exercées sur les alliages et sur le sulfure de cuivre; mais, sous ce rapport, ces corps présentent des effets différents suivant leur nature, de même qu'ils ne subissent pas la trempe et l'écrouissage de la même manière et au même degré.

Si l'on consulte les tableaux dans lesquels sont rangés les corps suivant leur pouvoir thermo-électrique[3], on ne reconnaît pas de propriétés physiques ou chimiques de ces corps qui puissent rendre raison, d'une manière satisfaisante, de l'ordre qu'ils présentent les uns par rapport aux autres ; cependant on peut remarquer que les corps les plus positifs sont ceux, comme le tellure, l'antimoine, l'arsenic, dont les oxydes donnent des

1. *Ann. de chimie et de physique*, 3e série, t. XXXIV, p. 105.

2. *Id.*, t. LII. 1858.

3. Voir Seebeck, *Mém. de l'Acad. de Berlin*, t. IX. 1822-1823. Hankel, *Ann. de Poggendorf*, t. LXII, p. 197, et *Arch. de l'électricité*, t. IV, p. 590. 1844. Matthiessen, *Ann. de chimie et de physique*, t. LIV, p. 251. Becquerel et E. Becquerel, *Traité d'électricité et de magnétisme*, t. I.

acides énergiques; les métaux, bons conducteurs de l'électricité et de la chaleur, n'ont que des pouvoirs thermo-électriques peu énergiques, et les corps les plus négatifs ou placés à l'autre extrémité de l'échelle thermo-électrique sont le nickel, le côbalt et le bismuth.

En formant des alliages avec ces substances, on remarque en général que la réunion des matières qui sont très-voisines dans l'échelle des pouvoirs thermo-électriques donne des alliages dont l'effet est peu différent de celui des métaux eux-mêmes. Ainsi, le tellure et l'antimoine, le bismuth et le plomb, le cuivre et l'argent, ou le cuivre et le zinc, l'antimoine et le fer sont dans ce cas. Mais quand on observe qu'il y a augmentation d'effet comme en alliant l'antimoine et le bismuth, ou le zinc et l'antimoine, on remarque alors que les corps occupent des positions un peu éloignées et même opposées dans l'échelle des pouvoirs thermo-électriques; les effets les plus remarquables, comme on le verra plus loin, sont obtenus quand on allie le cadmium et le zinc à l'antimoine.

Je dois citer encore l'alliage à parties égales d'antimoine et de cuivre qui se forme facilement et a une teinte violacée; cet alliage est plus négatif que le cuivre; dans ce cas, comme pour l'alliage d'antimoine et de bismuth, l'antimoine qui est positif donne au cuivre un pouvoir négatif thermo-électrique assez marqué.

D'un autre côté, les faits que j'ai cités dans les deux notes présentées à l'Académie en 1865[1] montrent que le soufre uni au cuivre donne un sulfure très-fortement positif, tandis qu'uni au bismuth il donne du sulfure de bismuth qui est plus fortement négatif que ce métal. On est conduit à penser que si le soufre était conducteur, son pouvoir thermo-électrique devrait donc être au moins aussi fortement positif que celui de l'antimoine.

J'indiquerai d'abord comment quelques-unes des substances dont j'ai fait usage, l'antimoine, l'alliage de cadmium et le bismuth, se comportent quand, obtenus par fusion dans une lingotière, on vient à les soumettre à un recuit plus ou moins élevé.

L'alliage de bismuth et d'antimoine (bismuth 10, antimoine 1) dont on parlera plus loin, et coulé de manière à se refroidir assez

1. *Comptes rendus*, t. LX, p. 313, et t. LXI, p. 146.

rapidement, présente une cassure à grains fins. On a pris un barreau de 15 à 18 centimètres de longueur, pesant 90 à 100 grammes, qui, joint à deux fils de cuivre, a formé un couple que l'on a placé dans l'appareil qui vient d'être décrit (fig. 5); après avoir cherché sa force électro-motrice par rapport à celle d'un couple normal, on l'a soumis pendant six heures à un recuit allant à 180°, afin de rester au-dessous du terme de fusion de cet alliage. Après cette action, le nouveau nombre obtenu n'a pas différé du précédent de 1/100e de sa valeur. On doit donc en conclure que cet alliage, dans ces limites de température, n'éprouve qu'une action à peine sensible, car les limites d'erreur du procédé expérimental pourraient donner une différence de ce genre.

Je dois, du reste, appeler l'attention sur cet alliage, le plus négatif de ceux que j'ai étudiés, qui présente une homogénéité très-grande en raison peut-être de la petitesse des grains cristallisés qu'il forme, et qui donne des effets thermo-électriques semblables dans toutes les parties des barreaux, ce qui n'a pas lieu ordinairement avec les matières qui cristallisent, surtout celles qui donnent des cristaux assez gros, comme le bismuth et l'antimoine purs.

On a formé un alliage d'antimoine et de cadmium à équivalents égaux, alliage dont on parlera plus loin, auquel on a joint 1/10 de son poids de bismuth pour lui donner de la consistance. Un premier barreau, dont on avait déterminé la force électro-motrice, a subi un recuit à 100° dans un tube environné de vapeur d'eau, pendant vingt-quatre heures; on a eu, l'une des extrémités du couple étant à 0°, l'autre à 100° :

	Force électro-motrice par rapport à celle d'un couple à sulfate de cuivre.
Avant le recuit.	0,01157
Après —	0,01226

l'augmentation de force électro-motrice est de 0,06 de la valeur primitive.

Comme le point de fusion de cet alliage est environ de 430°, on a formé un second barreau qui a été recuit d'abord à 180°, puis dans un tube en fer environné de mercure bouillant, c'est-à-dire à 358° $\frac{1}{2}$. On a eu :

	Force électro-motrice.	Augmentation.
Avant le recuit.	0,01129	»
Après le recuit pendant six heures à 180° . . .	0,01182	0,047 de la valeur avant le recuit.
Après le recuit dans la vapeur du mercure. .	0,01270	0,125

On voit donc que la force électro-motrice a augmenté avec l'élévation de la température du recuit.

L'antimoine ordinaire a été soumis à une action analogue. On a coulé deux barreaux exactement semblables et dans la même lingotière ; le premier est resté tel, et le second a été recuit pendant vingt-quatre heures à une température comprise entre 300 et 400°. On a eu :

	Force électro-motrice.
1er barreau (non recuit).	0,001033
2e barreau (recuit)	0,001173

L'augmentation d'action est de 0,13 de la valeur de l'action du barreau non recuit.

Ces exemples suffisent pour montrer entre quelles limites les changements dans les forces électro-motrices peuvent avoir lieu.

Avec le tellure, j'ai cru observer une diminution d'effet au lieu d'une augmentation, si toutefois l'action a changé ; car, accidentellement, je n'ai pu employer les mêmes fils de cuivre formant couple avec le barreau, que ceux qui avaient été employés avant le recuit. En raison de ce motif, je ne citerai pas les résultats obtenus.

J'ai cherché à comparer les pouvoirs thermo-électriques des alliages formés avec l'antimoine et différentes matières, pour voir jusqu'où l'on pourrait augmenter l'action, puis ceux des alliages de bismuth qui sont placés à l'autre extrémité de l'échelle thermo-électrique ; je parlerai d'abord des premiers.

J'ai d'abord reconnu que parmi les métaux qui augmentent le pouvoir thermo-électrique positif de l'antimoine, on doit placer en tête le cadmium[1] ; le zinc ne vient qu'ensuite. Quant aux autres métaux comme le bismuth, l'étain, le plomb, etc., ils ne font

1. J'ai déjà signalé ce fait en 1865. Voir *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LXI, p. 151.

que de donner de la solidité à l'alliage en diminuant plus ou moins son pouvoir électro-moteur.

Ayant opéré sur des masses métalliques assez considérables, je n'ai pu avoir des métaux très-purs; cependant je dois dire que l'antimoine, dont je me suis servi, avait été pris aussi pur que possible, puis fondu de nouveau avec son poids d'oxyde d'antimoine; par cette fusion, l'arsenic et la plupart des métaux étrangers se trouvent éliminés.

Pour préparer l'alliage, on fond l'antimoine dans un creuset et l'on a soin de ne pas dépasser beaucoup la température de fusion, puis l'on projette dans le creuset le cadmium, on agite la masse, et, quand la fusion est opérée, on coule de suite l'alliage. Quand on n'opère pas ainsi, on observe toujours un départ indiquant la séparation de plusieurs alliages. Si l'on fond une seconde fois l'alliage, il ne faut pas beaucoup dépasser le terme de fusion et il est nécessaire d'éviter la volatilisation du cadmium.

Les barreaux qui ont servi aux expériences dont il va être question ont été pris tels qu'ils sortent de la lingotière et n'ont pas été soumis à des recuits successifs comme ceux dont on a parlé plus haut.

Dans le tableau ci-après, les forces électro-motrices de la deuxième colonne sont données en fraction de celle du couple hydro-électrique à sulfate de cuivre, comme on l'a dit plus haut. Elles sont relatives à un couple thermo-électrique, formé par l'alliage d'antimoine et de cadmium et des fils de cuivre, les jonctions étant l'une à 0°, l'autre à 100°. Si l'on voulait avoir la force électro-motrice d'un couple formé par l'alliage et un autre métal, il faudrait ajouter à ces nombres ceux qui seront indiqués ultérieurement. L'alliage prenant l'électricité positive par rapport au cuivre, on met le signe + devant les nombres qui mesurent les forces électro-motrices:

Alliages d'antimoine et de cadmium.

TIGE MÉTALLIQUE OU D'ALLIAGE formant avec le cuivre UN COUPLE THERMO-ÉLECTRIQUE ENTRE 0° ET 100°.	FORCE ÉLECTRO-MOTRICE par rapport à celle du couple hydro-électrique à sulfate de cuivre. Celle du couple hydro-électrique étant : 1.	Celle du couple hydro-électrique étant 1000.
Antimoine (fondu avec l'oxyde)............	+ 0.00141	+ 1.41
Cadmium............................	+ 0.000033	+ 0.033
Cuivre............................	0	0
Alliage.. { Antimoine. 2 » en poids. / Cadmium.. 1 » }........	+ 0.00622	+ 6.22
Alliage (cassant.) { Antimoine. » 806 / Cadmium.. » 696 } Équivalents chimiques égaux.	+ 0.02141	+ 21.41
Alliage (cassant.) { Antimoine. 1 » / Cadmium.. 1 » } Cassant.	+ 0.00957	+ 9.57
Alliage.. { Antimoine. 1 » / Cadmium.. 2 » }........	+ 0.00032	+ 0.32

On voit que l'alliage qui donne la plus grande force électromotrice est celui dans lequel l'antimoine et le cadmium sont à équivalents chimiques égaux, l'action est quinze fois plus forte que celle de l'antimoine; pour peu que l'on altère ces proportions, l'effet devient moindre.

Ces différents alliages, et surtout celui à équivalents égaux, sont éminemment cassants; c'est un des inconvénients que l'on rencontre dans leur application aux piles thermo-électriques. Cependant, comme on le verra plus loin, en y ajoutant quelques faibles quantités de métaux étrangers comme le bismuth ou l'étain, on leur donne de la solidité, mais en diminuant un peu leur pouvoir thermo-électrique.

On a vu plus haut que Seebeck avait observé que le zinc allié à l'antimoine augmentait l'état positif de celui-ci; M. Matthiessen, dans le mémoire cité précédemment, a indiqué les proportions de 2 d'antimoine pour 1 de zinc, comme donnant un alliage fortement positif. C'est cet alliage ou un alliage qui en diffère peu

qui a été employé l'année dernière par M. Marcus[1] dans la construction de piles thermo-électriques d'un certain nombre d'éléments.

Le tableau suivant renferme les résultats obtenus avec différents alliages d'antimoine et de zinc:

TIGE D'ALLIAGE formant avec le cuivre un couple THERMO-ÉLECTRIQUE entre 0° et 100°.	FORCE ÉLECTRO-MOTRICE par rapport à celle du couple hydro-électrique à sulfate de cuivre. Celle du couple hydro-électrique étant 1.	Celle du couple hydro-électrique étant 1000.
Antimoine fondu	+ 0.00141	+ 1.41
Zinc fondu	— 0.00003	— 0.03
Alliage { Antimoine. 6 » ; Zinc 1 » } Résistant	+ 0.00302	+ 3.02
Alliage { Antimoine. 3 » ; Zinc 1 » } Assez résistant, quoique cassant	+ 0.00502	+ 5.02
Alliage { Antimoine. 2 » ; Zinc 1 » } Cassant	+ 0.00661	+ 6.61
Alliage à équivalents égaux { Antimoine. » 806 ; Zinc » 406 } Cassant	+ 0.00902	+ 9.02
Alliage { Antimoine. 1 » ; Zinc 1 » } Très-résistant	+ 0.00277	+ 2.77
Alliage { Antimoine. 1 » ; Zinc 2 » } Très-résistant	+ 0.00021	+ 0.21
Alliage[1]. { { Antimoine. 10 ; Fer 1 } 2 ; Zinc 1 } Très-cassant	+ 0.00869	+ 8.69
Alliage { Antimoine 2 ; Zinc 1 ; Alliage { Antim. 4 ; Fer 1 } 1 } Assez résistant, quoique cassant	+ 0.00434	+ 4.34

1. Les alliages d'antimoine et de fer se forment facilement en mélangeant les métaux à l'état de limaille et en les fondant ensemble.

On peut du reste représenter graphiquement l'accroissement

1. *Académie de Vienne*, 17 novembre 1864, 2 février, 16 et 23 mars 1865. *Biblioth. univ. de Genève*, nouvelle période, t. XXVI, p. 346. 1866.

de force électro-motrice suivant la composition de l'alliage. La *fig.* 6 représente les courbes relatives aux alliages de cadmium et à ceux de zinc.

Pour les tracer, on suppose qu'on a fait des couples avec chacun de ces alliages et le cuivre, et que les températures des jonctions de ces couples sont 0° et 100°. On prend comme ordonnées les forces électro-motrices et comme abscisses les rapports des poids des métaux à celui de l'antimoine dans chaque alliage. Alors pour $X = 0$ on a, dans chaque courbe, l'intensité correspondante à l'antimoine pur. Au delà de $X = 2$, les courbes sont très-rapprochées de l'axe des X qui représente la force électromotrice du cuivre.

Pour l'alliage de zinc, un peu au delà de $x = 2$, la courbe passerait au-dessous de cet axe; ce qui montre combien la force électro-motrice varie rapidement aux environs des rapports des métaux autres que ceux donnés par les équivalents chimiques égaux.

On doit remarquer encore que de faibles quantités de cadmium unies à l'antimoine augmentent beaucoup l'effet de ce dernier, tandis que de faibles quantités d'antimoine unies au cadmium ne produisent aucune action bien manifeste.

J'ai indiqué dans le tableau suivant les forces électro-motrices de plusieurs alliages, toujours par rapport au cuivre comme précédemment :

Alliages d'antimoine.

TIGES D'ALLIAGE formant avec le cuivre un couple THERMO-ÉLECTRIQUE entre 0° et 100°.		FORCE ÉLECTRO-MOTRICE par rapport à celle du couple hydro-électrique à sulfate de cuivre. Celle du couple étant 1.	Celle du couple hydro-électrique étant 1000.
Antimoine.. 806 Cadmium... 696	équivalents chimiques égaux. } Très-cassant.	+ 0.02141	+ 21.41
Antimoine.. 4 Cadmium... 2 Zinc....... 1	Très-cassant................	+ 0.01380	+ 13.80
Antimoine.. 806 Cadmium... 696 Plus 1/10 du poids en Bismuth.	alliage résistant.	+ 0.01300	+ 13.00
Antimoine.. 806 Zinc....... 406	Équivalents égaux (cassant)...	+ 0.00902	+ 9.02
Antimoine.. 806 Zinc....... 406 Plus 1/10 du poids en Bismuth.	Résistant..................	+ 0.00775	+ 7.75
Antimoine.. 4 Cadmium... 2 Plomb..... 1 Zinc....... 1	Un peu cassant.............	+ 0.00731	+ 7.31
Antimoine.. 4 Cadmium... 2 Zinc....... 1 Étain...... 1	Assez résistant......	+ 0.00452	+ 4.52
Antimoine.. 2 Zinc....... 1 Étain...... 1	Assez résistant.............	+ 0.00423	+ 4.23
Antimoine.. 12 Cadmium... 10 Zinc....... 3	....	+ 0.00345	+ 3.45
Antimoine.. 10 Tellure..... 1	....	+ 0.00114	+ 1.14
Antimoine.. 10 Bismuth.... 1	L'alliage composé d'Antimoine 10 et Sodium 1 donne à peu près les mêmes effets............	+ 0.00100	+ 1.00
Antimoine.. 4 Fer....... 1	Alliage très-dur et bien fusible.	+ 0.00041	+ 0.41
Antimoine.. 8 Magnesium.. 1	....	+ 0.00031	+ 0.31
Antimoine.. 8 Plomb..... 1	....	+ 0.00014	+ 0.14

Si l'on compare les résultats indiqués dans ce tableau avec ceux inscrits dans le tableau précédent, on voit que l'introduction

du plomb et de l'étain, qui donnent de la résistance aux alliages, diminue leur pouvoir thermo-électrique positif; sous ce rapport, la diminution est plus grande avec le plomb qu'avec l'étain. Mais le bismuth, tout en diminuant le pouvoir électro-moteur des alliages, le diminue bien moins que les métaux précédents, et rend les alliages assez résistants pour être employés. A peine si l'introduction d'une quantité de 1/10 de bismuth diminue le pouvoir thermo-électrique de l'alliage antimoine-zinc de 1/10 de sa valeur; tandis que l'alliage de cadmium subit une diminution plus grande. Cependant ce dernier est encore plus énergique que le précédent, mais, comme on va le voir, présente un point de fusion un peu inférieur.

Les résultats suivants ont été obtenus avec le bismuth qui est négatif par rapport au cuivre; c'est pour ce motif que les nombres sont affectés du signe moins. Le bismuth qui a servi aux préparations avait été préalablement maintenu à l'état de fusion avec du nitrate de potasse pour le priver d'arsenic :

Alliages de bismuth.

TIGE formant avec le cuivre un couple THERMO-ÉLECTRIQUE les points de jonction étant 0° et 100°.	FORCE ÉLECTRO-MOTRICE par rapport à celle du couple hydro-électrique à sulfate de cuivre. Celle du couple hydro-électrique étant 1.	Celle du couple hydro-électrique étant 1000.
Bismuth	— 0.00391	— 3.91
Bismuth 2, Antimoine 1	— 0.00295	— 2.95
Bismuth 4, Antimoine 1	— 0.00463	— 4.63
Bismuth 8, Antimoine 1	— 0.00573	— 5.73
Bismuth 10, Antimoine 1	— 0.00620	— 6.20
Bismuth 12, Antimoine 1	— 0.00608	— 6.08
Bismuth 2, Étain 1	+ 0.00074	+ 0.74
L'alliage de Bismuth 10 et Tellure 1 est très-peu négatif par rapport au cuivre; la tige a été trop petite pour mesurer exactement la force électro-motrice de cet alliage.		
Bismuth 10, Sélénium 1	— 0.00211	— 2.11
Bismuth 12, Zinc 1	— 0.00273	— 2.73
Bismuth 12, Arsenic 1	— 0.00422	— 4.22
Bismuth et sulfure de Bismuth fondus ensemble à poids égaux	— 0.00619	— 6.19

Il est facile de reconnaitre, d'après les résultats précédents, que le pouvoir du bismuth peut être augmenté, mais dans des proportions moindres que celui de l'antimoine, puisque cette augmentation atteint à peine la proportion de 1 à 2. L'étain produit un changement de signe, comme on l'avait déjà observé, et il est assez curieux de voir que deux métaux qui sont négatifs par rapport au cuivre, donnent un alliage qui devient positif.

Le zinc et le sélénium ne donnent lieu qu'à une faible dimi-

nution dans l'intensité du bismuth; l'arsenic produit une légère augmentation, mais le soufre et l'antimoine sont les deux corps qui donnent l'action la plus marquée. Le sulfure de bismuth, comme je l'avais déjà vu l'année passée, a une force électro-motrice plus grande que celle du bismuth; le mélange fondu, bismuth, sulfure de bismuth, a une action presque égale à celle du sulfure.

Mais il est intéressant de remarquer comment l'antimoine agit; le maximum d'effet est sensiblement obtenu avec l'alliage formé de 10 parties de bismuth pour 1 d'antimoine, et la force électro-motrice, par rapport au cuivre, est presque doublée. Cet alliage remarquable est solide et présente, comme je l'ai déjà dit, une cassure à grains fins; il y a avantage à le substituer au bismuth, dans les piles thermo-électriques, ainsi qu'on le dira dans le dernier paragraphe de ce travail, non-seulement en raison de la facilité avec laquelle on le coule, mais encore à cause de son homogénéité et de la régularité des effets qu'il présente.

Le tableau suivant renferme les résultats obtenus avec des tiges ou des fils de métaux ordinaires, afin de pouvoir faire la comparaison des couples thermo-électriques formés par leur réunion :

MÉTAL formant avec le cuivre un couple THERMO-ÉLECTRIQUE les points de jonction étant 0° et 100°.	FORCE ÉLECTRO-MOTRICE par rapport à celle du couple hydro-électrique à sulfate de cuivre.	
	Celle du couple hydro-électrique étant 1.	Celle du couple hydro-électrique étant 1000.
Tellure	+ 0.039949	+ 39.949
Sulfure de cuivre fondu — Action maximum observée[1]	+ 0.032762	+ 32.762
Sulfure de cuivre fondu — Action moyenne	+ 0.018130	+ 18.130
Alliage d'Antimoine et de Cadmium à équivalents égaux (voir ci-dessus)	+ 0.021410	+ 21.410
Alliage d'Antimoine et de Zinc à équivalents égaux (voir ci-dessus)	+ 0.009020	+ 9.020
Antimoine ordinaire	+ 0.001409	+ 1.409
Fer (fil de fer du commerce)	+ 0.000950	+ 0.950
Id. (autre fil)	+ 0.000674	+ 0.674
Cadmium fondu	+ 0.000033	+ 0.033
Argent en fil	+ 0.000026	+ 0.026
Cuivre en fil du commerce (recuit)	0	0
Zinc ordinaire, fondu	— 0.000018	— 0.018
Id. autre échantillon	— 0.000037	— 0.037
Platine en fil[2]	— 0.000090	— 0.090
Id. autre échantillon	— 0.000378	— 0.378
Charbon de cornue à gaz	— 0.000142	— 0.142
Étain ordinaire	— 0.000147	— 0.147
Plomb ordinaire	— 0.000187	— 0.187
Mercure[3]	— 0.000483	— 0.483
Palladium[2] en fil	— 0.000820	— 0.820
Maillechort en fil	— 0.001260	— 1.260
Nickel en fil	— 0.001630	— 1.630
Cobalt en fil	— 0.002240	— 2.240
Bismuth ordinaire	— 0.003909	— 3.909
Alliage de Bismuth et d'Antimoine (voir ci-dessus). Bismuth... 10. Antimoine. 1.	— 0.006197	— 6.197

1. Comme on le verra plus loin, l'action thermo-électrique du sulfure de cuivre fondu est très-variable. On a donné ici l'action la plus élevée que l'on ait trouvée.
2. Le platine et le palladium indiqués par la note sont les mêmes que ceux qui ont servi à former le pyromètre thermo-électrique destiné à la mesure des hautes températures (Voir E. Becquerel, *Annales du Conservatoire impérial des arts et métiers*, t. IV, p. 597, 1864).
3. Le mercure a été placé dans un tube de verre fermé à ses deux extrémités par deux bouchons de liége.

Ce tableau ne renferme que les résultats des effets observés avec quelques corps conducteurs qu'on peut obtenir par fusion; il ne contient pas ceux que l'on obtiendrait avec les minéraux naturels et les cristaux; on peut consulter sur ce sujet les mémoires cités plus haut. Il ne renferme aussi que les résultats obtenus avec un ou deux échantillons de chaque matière, mais avec chaque corps l'effet peut varier avec la pureté, l'écrouissage, etc., comme le fer, le zinc en offrent des exemples; en général, les métaux ont été préalablement recuits. Je n'ai rapporté ces déterminations

qu'en vue de donner seulement des indications générales pouvant montrer quelle est la force électro-motrice des piles que l'on pourrait faire avec ces différents corps.

Ce tableau ne donne que les effets thermo-électriques observés entre chaque métal et le cuivre pour une différence de température de 0° à 100°; si on voulait avoir l'action produite entre deux métaux différents, il faudrait retrancher l'un de l'autre les deux nombres relatifs à ces deux métaux, en ayant égard aux signes respectifs. Ainsi, entre 0° et 100°, l'action exercée entre le tellure et l'antimoine serait

$$39,949 - 1,409 = 38,540.$$

Celle entre le tellure et le bismuth serait

$$39,949 - (-3,909) = 43,858.$$

D'après cela, on aurait pour les forces électro-motrices de différents couples thermo-électriques entre 0° et 100° :

COUPLE THERMO-ÉLECTRIQUES les jonctions étant L'UNE A 0°, L'AUTRE A 100°. (Le métal qui précède est positif par rapport à celui qui suit).	FORCE ÉLECTRO-MOTRICE celle du couple HYDRO-ÉLECTRIQUE à sulfate de cuivre étant 1000.	Nombre de couples THERMO-ÉLECTRIQUES nécessaires pour être équivalents en force ÉLECTRO-MOTRICE à celle du couple HYDRO-ÉLECTRIQUE à sulfate de cuivre.
Tellure — Maillechort	41.209	24.2
Sulfure de cuivre (maximum observé). — Maillechort	34.022	29.4
Alliage.. {Antimoine. 806, Cadmium.. 606, ou équivalents chimiques égaux.} Alliage. {Bismuth..... 10, Antimoine... 1}	27.607	36.2
Id. id. — Maillechort	22.670	44.1
Alliage.. {Antimoine. 806, Cadmium.. 696, plus 1/10 de Bismuth du poids du mélange.} Alliage. {Bismuth..... 10, Antimoine... 1}	19.197	52.1
Id. id. — Maillechort	14.260	70.1
Alliage.. {Antimoine. 806, Zinc...... 406, ou équivalents chimiques égaux.} Maillechort	10.280	97.2
Alliage.. {Antimoine. 806, Zinc..... 406, plus 1/10 de Bismuth du poids du mélange.} Maillechort	8.960	111.8
Alliage.. {Antimoine. 3, Zinc..... 1} Maillechort	6.280	159.2
Alliage.. {Antimoine. 4, Zinc..... 1} Maillechort	5.300	188.7
Antimoine. — Bismuth	5.318	188.0
Fer — Cuivre	0.950	1052.6
Platine. — Palladium. — (Couple thermo-électrique ayant servi de pyromètre	0.730	1369.8

Si l'on voulait construire des couples thermo-électriques avec ces substances et dépasser 100°, comme il y a des alliages qui ne fondent qu'à 400 ou 500°, on pourrait obtenir des forces électro-motrices augmentant dans un rapport plus rapide que celui de la température; du reste, plus loin, on indiquera quelques-uns des résultats obtenus au delà de 100°.

D'un autre côté, chaque substance doit être étudiée entre des limites différentes de température, et l'on sait même qu'il y a des couples thermo-électriques dont les courants changent de di-

rection suivant que cette température est plus ou moins élevée; tels sont les couples fer-cuivre, zinc, argent, etc[1].

Il est une remarque que l'on doit faire ici, et qui s'applique à quelques-uns des alliages que l'on peut employer dans la construction des piles thermo-électriques, c'est que le point de fusion de ces alliages est peu différent de celui que l'on peut calculer en admettant une moyenne entre les températures de fusion des métaux, mais en tenant compte de leur proportion dans le mélange. Cela n'est pas exact, mais on se rend ainsi compte assez approximativement de la température de fusion des alliages dont il est question.

Ainsi, avec le pyromètre thermo-électrique, j'ai trouvé pour les températures de fusion des métaux suivants :

Bismuth ordinaire	257°,5
Cadmium —	315°,8
Zinc.	395°,6
Antimoine.	581°,8

En déterminant de la même manière les températures de fusion de ces alliages, et en les comparant aux valeurs calculées comme il est dit ci-dessus, on a :

ALLIAGE.	TEMPÉRATURE DE FUSION.	
	par expérience.	par le calcul.
Antimoine................. 806 Cadmium.................. 696 Plus 1/10 de Bismuth du poids du mélange.	A 425° l'alliage commence à devenir pâteux; à 430° il est bien liquide.	440°
Antimoine................. 806 Zinc..................... 406	Entre 520° et 525°.	520°
Antimoine................. 806 Zinc..................... 406 Plus 1/10 de Bismuth du poids du mélange.	....	496°
Bismuth................... 10 Antimoine................. 1	Cet alliage commence à fondre à 286°, et de là à 307° il devient de moins en moins pâteux. A 307° il est bien fluide.	287°

1. Voyez Becquerel, *Traité d'électricité*, en sept volumes, t. II, p. 44.

IV

Pouvoir thermo-électrique du sulfure de cuivre.

Dans ses premières recherches faites en 1827[1] sur le développement des courants thermo-électriques dans les circuits métalliques, mon père avait remarqué qu'un fil de cuivre recouvert de sulfure de ce métal est fortement positif par rapport au cuivre ordinaire, et il était parvenu à former avec deux fils de ce métal, dont l'un est sulfuré à la surface, un couple thermo-électrique capable de fonctionner pendant longtemps et de donner, par une élévation de température ne depassant pas 200° à 300°, des décompositions électro-chimiques, telles que celles du sulfate de cuivre, du nitrate d'argent, etc. Le courant thermo-électrique obtenu dans cette circonstance est même plus énergique que celui qui se produit en se servant de circuits composés d'autres métaux ou bien dans lesquels entrent du persulfure de fer, du peroxyde de manganèse ou d'autres substances minérales comme cela résulte également de ses recherches[2].

Cette expérience curieuse, qui a été répétée dans les cours, publics depuis cette époque, m'avait fait penser qu'on pourrait former avec le sulfure de cuivre fondu des couples thermo-électriques d'une force électro-motrice assez élevée relativement à celles des autres couples thermo-électriques en usage. L'étude que j'ai faite à cette occasion m'a conduit, comme on l'a vu, à comparer les courants thermo-électriques produits dans des circuits formés avec des matières préparées artificiellement.

Le soufre est une des substances qui modifient le plus profondément le pouvoir thermo-électrique des métaux, et cela dans un sens ou dans un autre. On peut voir, en effet, dans les tableaux où les substances naturelles sont placées par séries thermo-électriques dans les mémoires cités plus haut, que les sulfures peuvent se trouver dans des parties éloignées de l'échelle thermo-électrique. Parmi les matières obtenues artificiellement et

1. Voir *Ann. de chimie et de physique*, 2e série, t. XXXIV, p. 157. 1827. *Comptes rendus de l'Acad.*, t. XL, p. 313. 1865.

2. Becquerel et E. Becquerel, *Traité d'électricité*, en trois volumes, t. I, p. 157. 1855.

fondues, les sulfures d'argent, d'antimoine, de fer, de zinc, ne présentent aucune action bien énergique, mais le sulfure de bismuth se comporte comme assez fortement négatif, et cela à un degré supérieur au bismuth lui-même.

Les barreaux de sulfure de bismuth obtenus par fusion sont assez fragiles, mais comme cette matière est capable de se mélanger par fusion en toutes proportions avec le bismuth, il est facile d'obtenir des conducteurs solides, résistants, par un mélange de ces deux substances. On trouve même ce résultat curieux que du bismuth qui contient une certaine quantité de sulfure est aussi négatif que celui-ci. Le mélange à parties égales de ces matières est celui que j'ai généralement employé. On a pu voir, dans le tableau de la page 577, quelle est la force électromotrice de ce mélange par rapport au bismuth. Mais il est préférable de faire usage, dans les piles, de l'alliage bismuth-anti moine, dont la force électro-motrice est aussi grande.

Le protosulfure de cuivre fondu est éminemment positif par élévation de température, par rapport aux autres substances métalliques. Je n'ai trouvé jusqu'ici que le tellure qui lui soit supérieur (il n'est question bien entendu que des substances amorphes obtenues artificiellement et fondues); mais cette matière exige pour cela un état moléculaire et un certain degré de pureté sans lequel ces effets électriques ne peuvent être observés. On lui donne cet état particulier en la fondant à une température peu supérieure à son point de fusion, et en la coulant dans des moules, de façon à ce que les barreaux présentent une cassure fibreuse. Si on la fond à plusieurs reprises à une haute température et qu'on la coule également à plusieurs reprises, la matière devient cassante; elle présente des parties réduites, et son pouvoir thermo-électrique élevé est presque détruit, surtout pour de faibles différences de température. Du reste, cet effet se retrouve également avec la pyrite cuivreuse naturelle qui, en général, est négative par élévation de température par rapport au cuivre; si on fond cette substance et qu'on la coule en barreau, elle perd presque tout pouvoir thermo-électrique; l'influence de l'état moléculaire est encore ici bien manifeste.

Mais le motif ou du moins un des motifs de ces différences est une espèce de trempe que prennent les barreaux de sulfure et que le recuit peut faire disparaître. Il suffit de placer ces barreaux

dans du sable et de les recuire au rouge sombre pendant plusieurs heures dans une moufle ou un tube de terre ou de porcelaine, pour voir augmenter leur pouvoir thermo-électrique, qui devient à peu près le même avec les divers barreaux obtenus par première ou deuxième fusion. Si on les recuisait trop longtemps et à une température trop élevée, alors on aurait dépassé le but que l'on veut atteindre et leur force électro-motrice pourrait diminuer.

Cette propriété que possède le sulfure de cuivre fondu de varier de pouvoir thermo-électrique, suivant son degré de recuit, est analogue à celle que l'on a observée depuis longtemps dans les métaux dont le pouvoir thermo-électrique change, suivant qu'ils sont plus ou moins recuits ou écrouis; seulement, dans cette circonstance, le changement est beaucoup plus grand, puisque les barreaux de sulfure de cuivre ont augmenté dans la proportion de 1 à 10 et même davantage, tandis que l'on a vu antérieurement que le recuit était loin d'apporter des changements aussi grands dans certains alliages métalliques.

Il est facile de préparer le proto-sulfure de cuivre suffisamment pur en plaçant des fragments de soufre, 100 à 200 grammes environ, au fond d'un creuset en terre de 25 à 30 centimètres de hauteur, sur 12 ou 17 centimètres de diamètre, chauffé au rouge sombre. Ces fragments ne tardent pas à fondre et à entrer en ébullition; on plonge alors dans la vapeur de soufre de fortes lames de cuivre préalablement chauffées au rouge sombre, et la réaction ne tarde pas à s'effectuer entre les deux corps. Les lames dont j'ai fait usage avaient 20 centimètres de hauteur sur 7 à 8 de longueur et 1 d'épaisseur. Quand on voit que la vapeur de soufre va disparaître par défaut de soufre, on retire la lame couverte de sulfure, on la laisse refroidir après l'avoir plongée un instant dans l'eau, pour éviter le grillage au contact de l'air, puis on détache le sulfure formé à la surface de la lame. Cette dernière peut ainsi servir à deux ou trois opérations successives. Le sulfure de cuivre est ensuite fondu dans un creuset, puis coulé en barreaux ou en plaques.

La température de fusion du sulfure est à peu près la même que celle de l'or et comprise entre 1030 et 1040°. Dans cette dernière opération, il ne faut pas dépasser beaucoup la température de fusion, et pour cela on coule les barreaux quand il y a

encore des fragments de sulfure non fondu au-dessus du bain; mais, malgré les précautions prises, et bien que l'on coule les barreaux dans des moules chauds, il se produit un phénomène de trempe, et on n'a pas toujours des barreaux ayant le même état physique et le même pouvoir thermo-électrique. Avec le même sulfure on forme des barreaux d'une action très-inégale; une fois fondus, on les recuit au rouge sombre comme on l'a indiqué plus haut, et on les laisse refroidir dans le fourneau pendant plusieurs heures et très-lentement, afin de les avoir dans un état convenable.

J'ai fondu du sulfure de cuivre avec une petite quantité de sulfure de fer, d'antimoine, de zinc, d'argent, de plomb, etc., en général 2 p. 100 en poids, et j'ai obtenu les résultats suivants avec les barreaux suffisamment recuits au rouge sombre : le sulfure d'argent et le sulfure de bismuth ne changent pas notablement l'effet produit par le sulfure de cuivre seul; les sulfures de plomb et de mercure le diminuent un peu, et le sulfure de zinc un peu plus. Le sulfure de fer le diminue également, mais faiblement. En somme, il n'y a pas avantage à opérer ainsi, et il est préférable de se servir de sulfure de cuivre fondu isolément.

Le sulfure de cuivre prenant en général, par élévation de température, en présence d'un autre corps, un excès d'électricité positive, on doit employer, comme seconde substance pour constituer chaque couple, un corps éminemment négatif. Seebeck, ainsi qu'on l'a vu plus haut, avait déjà reconnu que le nickel, qui est négatif par élévation de température par rapport à la plupart des métaux, portait son action négative dans ses alliages avec le cuivre et le zinc, et que le maillechort, ou argentan, avait une action négative presque aussi forte que celle du nickel. M. Poggendorf[1] a utilisé plus tard cette propriété en construisant des couples thermo-électriques, dans lesquels ce dernier alliage était en contact avec le fer. C'est également le maillechort que j'ai employé pour ces couples thermo-électriques.

Le côté de chaque couple AB (*fig.* 7 et *fig.* 8) qui est soumis à une élévation de température est fixé à une plaque de maillechort *ab*, directement échauffée au moyen d'un bec de gaz, de sorte

1. *Ann. de chimie et de physique*, 2e série, t. LXXV, p. 333. 1840.

que c'est le métal négatif qui supporte seul l'action de la chaleur et qui la communique par conductibilité au sulfure de cuivre. Il est nécessaire d'encastrer les extrémités A et B du barreau à l'aide de petites lames de maillechort fixées à vis, afin que la flamme du bec de gaz F ne vienne pas griller le sulfure. On peut employer la disposition (*fig.* 7 ou *fig.* 8); la disposition représentée (*fig.* 8) est plus simple que la première quand on veut refroidir la partie B. Les fils D et E sont en maillechort comme les lames qui sont fixées au barreau.

Les barreaux de sulfure de cuivre, dont j'ai fait généralement usage, étaient à section quadrangulaire et avaient de 19 à 20 millimètres de largeur sur 11 à 12 d'épaisseur, c'est-à-dire à peu près 2 centimètres carrés de section, et ils avaient une longueur comprise entre 8 et 12 centimètres. Comme le sulfure de cuivre est fort mauvais conducteur de la chaleur et de l'électricité, cette longueur suffit, même sans refroidir l'extrémité B, de sorte qu'en élevant la température de A entre 300 et 400°, la partie B s'échauffe peu. Mais pour les couples formés en substituant au sulfure AB des alliages d'antimoine, il faut alors une plus grande longueur et la porter même à 15 ou 20 centimètres, et refroidir l'extrémité B dans de l'eau.

Il est facile de se convaincre que le courant électrique, développé par de faibles différences de température, a bien une origine thermo-électrique et non pas électro-chimique, et ne provient pas de la décomposition du sulfure par la chaleur. D'abord, en maintenant une des surfaces de jonction à 0° et l'autre à 8 ou 10°, on a un courant électrique continu; dans ce cas, cette faible différence ne saurait provenir d'une décomposition chimique.

Pour chercher s'il en était de même à une température plus élevée, on a pris un barreau de sulfure de cuivre que l'on a pesé, et après en avoir fait un couple thermo-électrique avec des lames en maillechort, on a fait fonctionner le couple d'une manière continue pendant un mois, en maintenant la température d'une de ses extrémités à peu près à celle de la fusion du plomb, au moyen d'un bec de gaz réglé de façon à consommer de 30 à 33 litres de gaz par heure. La température de l'autre extrémité est restée de 25° à 28°. Chaque jour la force électro-motrice du couple a été déterminée, et l'on a employé le courant à déposer du

cuivre dans un voltamètre à sulfate de cuivre dont les deux électrodes étaient en cuivre; pendant l'expérience, la force électro-motrice est restée comprise entre les limites de 0,06 et 0,07 de la force électro-motrice d'un élément hydro-électrique à sulfate de cuivre, et il s'est déposé 4g,250 de cuivre sur l'électrode négative. Après l'action, le poids du barreau de sulfure était le même qu'avant; à peine si l'extrémité chauffée s'était légèrement irisée.

La température de fusion du plomb qui est inférieure à 320° n'est pas très-élevée; plus haut, le sulfure de cuivre chauffé au contact de l'air pourrait être modifié ; cependant j'ai maintenu la température de l'extrémité échauffée d'un couple à sulfure de cuivre jusque près du rouge naissant pendant vingt-quatre heures sans changement bien appréciable, si ce n'est dans les parties voisines des points où la température était aussi élevée, et où le sulfure paraissait brûlé à la surface.

J'ai cherché quelle pouvait être l'action de courants électriques assez puissants traversant des conducteurs en sulfure de cuivre, et j'ai reconnu qu'avec une pile hydro-électrique à sulfate de cuivre de six éléments, et pendant plusieurs jours, l'action exercée sur un barreau dont la température ne s'élevait que de 30 à 40°, par suite de l'action du courant lui-même, était inappréciable ; lorsque la température de tout le barreau était maintenue à 100°, on avait des traces de décomposition du côté négatif, et nullement du côté positif; mais, si la température n'était élevée que dans cette dernière portion du barreau, l'action n'était pas sensible. Comme dans les couples thermo-électriques à sulfure de cuivre, la partie échauffée est précisément le pôle positif dans le circuit fermé, il en résulte que si l'on ne dépasse pas une certaine limite de température, on ne doit pas observer d'effet de décomposition par suite de l'action du courant du couple circulant dans le couple lui-même; si la température est beaucoup plus élevée, alors le sulfure est modifié et présente des effets de décomposition électro-chimique.

V

Couples et piles thermo-électriques divers; effets produits par des différences de température assez élevées.

Il était important d'examiner comment les couples à sulfure de cuivre, ou les couples à alliage d'antimoine ou d'autres, se comportaient à des températures supérieures à 100°. Les températures ont été évaluées au moyen du pyromètre thermo-électrique platine-palladium décrit il y a plusieurs années[1]; la force électro-motrice de ce couple est indiquée page 581, et le mémoire cité ci-dessous contient la table destinée à faire connaître les températures par rapport à la déviation du magnétomètre due au courant thermo-électrique.

Pour ne rappeler que quelques-uns des nombres donnés par ce couple platine-palladium, dont l'une des jonctions est à 0 et l'autre à une température variable, si l'on exprime par 100 l'intensité du courant donné à 100°, on a :

TEMPÉRATURE T d'une des jonctions du couple donnée par le THERMOMÈTRE A AIR l'autre jonction étant à 0°.	Intensité I du courant THERMO-ÉLECTRIQUE avec le couple PLATINE-PALLADIUM.	RAPPORT $\frac{I}{T}$
0°	0	»
100	100	1
200	216.03	1.080
300	339.95	1.133
400	457.31	1.143
500	625.81	1.252
600	813.39	1.356
700	1016.76	1.452
800	1242.22	1.553
900	1466.39	1.629
1000	1711.01	1.711
1100	1967.88	1.789
1200	2236.48	1.864
1300	2516.30	1.936
1400	2806.93	2.005

1. Voir E. Becquerel, *Études sur la pyrométrie. Ann. du Conservatoire des arts et métiers*, t. IV, p. 597. 1864.

On voit que l'intensité du courant augmente plus rapidement que la température, bien qu'entre 300 et 400°, cette augmentation présente comme un temps d'arrêt.

Les résultats suivants ont été obtenus avec un couple tellure-maillechort, disposé de façon à ce que l'une des extrémités soit à 0°; l'autre a été élevée jusqu'à près de 300°. Le couple était disposé comme dans la figure 7, et la lame en maillechort seule était engagée dans la source calorifique qui était un bain de mercure. On a eu :

Couple tellure-maillechort.

TEMPÉRATURE T.	Force électro-motrice du couple I, celle du couple hydro-électrique à sulfate de cuivre étant 1.	Nombre de couples thermo-électriques nécessaires pour être équivalents à un couple à sulfate de cuivre.	RAPPORT $\frac{I}{T}$
0	0	»	»
11.7	0.00390	256.4	0.00036
97.9	0.03330	30.0	0.00034
213.6	0.06260	15.9	0.00029
285.0	0.07193	13.9	0.00025

Comme la force électro-motrice relative à 100° est moindre que celle indiquée page 579, et obtenue dans des conditions normales, on peut supposer que la température des points de jonction du couple précédent n'était pas à la température indiquée par le thermomètre; on peut le concevoir aisément, puisque c'était par conductibilité seule que la tige placée dans la cuve élevait la température de la jonction échauffée. Je n'insisterai donc pas sur ces résultats qui semblent montrer que l'action augmente avec la température, mais moins rapidement qu'elle.

Les résultats suivants ont été obtenus avec un couple construit par M. Rumhkorff avec un alliage d'antimoine et de zinc (à peu près ant. 2, zinc 1); peut-être les proportions du zinc sont-elles un

peu moindres par la déperdition de ce métal au moment de la fusion. Une tige, en rapport avec une des extrémités chauffées, était placée dans un bain de mercure. Les valeurs observées directement par expérience dans les environs de 200 à 300° ont servi à déterminer, par le calcul, les valeurs correspondant à ces derniers nombres.

Couple alliage d'antimoine et de zinc (ant. 2, zinc 1.) maillechort.

TEMPÉRATURE T.	Force électro-motrice du couple I, celle du couple hydro-électrique à sulfate de cuivre étant égale à 1.	Nombre de couples thermo-électriques nécessaires pour être équivalents à un couple à sulfate de cuivre.	RAPPORT $\frac{I}{T}$
0	0	»	»
100	0.00883	113.2	0.000088
200	0.01400	71.5	0.000070
300	0.02944	34.0	0.000098
358.5 (Ébullition du mercure.)	0.04006	25.0	0.000112
(Près de la fusion de l'alliage, ou avant 500.) Environ 460	0.07133	14.0	0.000155 (Environ.)

J'ai déterminé, comme on l'a vu page 582, avec le pyromètre thermo-électrique, la température de fusion de l'alliage précédent qui est comprise entre 520 et 525° ; quant à celle du sulfure de cuivre, elle est comprise entre 1030 et 1040.

Dans le tableau précédent, la dernière détermination ayant été faite en chauffant la tige à feu nu, avant le rouge et un peu avant la fusion de l'alliage, on a dû prendre environ 460 ou 470° pour exprimer la température à laquelle elle a eu lieu. On voit que le pouvoir thermo-électrique, qui augmente d'abord moins vite que la température, croît ensuite plus rapidement qu'elle.

Le tableau suivant renferme les résultats obtenus entre 0 et 100° avec deux couples à sulfure de cuivre, l'un très-énergique, l'autre un peu moins. La deuxième expérience n'a été poussée

que jusque vers le rouge naissant. La première, faite avec un barreau de 40 centimètres de longueur pouvant se mettre dans un fourneau, a pu être conduite jusqu'à la fusion du sulfure :

Couples sulfure de cuivre-maillechort.

TEMPÉRATURE T	GROSSE TIGE EN SULFURE DE CUIVRE (action énergique).			BARREAU EN SULFURE DE CUIVRE (action moyenne).			RAPPORT des effets produits par les 2 couples à sulfure.
	Force électro-motrice, celle du couple à sulfate de cuivre étant 1.	Nombre de couples nécessaires pour être équivalents à 1 couple à sulfate de cuivre.	RAPPORT de I à T.	Force électro-motrice I, celle du couple à sulfate de cuivre étant 1.	Nombre de couples nécessaires pour être équivalents à 1 couple à sulfate de cuivre.	RAPPORT de I à T.	
100	0.0340	29.4	0.00034	0.0150	66 6	0.00015	2.27
200	0.0598	16.7	0.00030	0.0317	31.5	0.00016	1.72
300	0.0870	11.5	0.00029	0.0603	16.6	0.00020	1.44
358.5 (Ébullition du mercure.)	0.1075	9.3	0.00030	0.0869	11.5	0.00024	1.24
400	0.1263	7.9	0.00031	0.1115	9.0	0.00028	1.14
460	0.1782	5.6	0.00038	Environ 0.1675	5.9?	0.00036	1.05
500	0.2175	4.6	0.00044	»	»		
600	0.2840	3.5	0.00047	»	»		
700	0.3347	3.0	0.00048	»	»		
800	0.3806	2.6	9.00048	»	»		
Environ 1030 le sulfure fond.	0.4219	2.4	0.00041	»	»		

Ces résultats mettent en évidence plusieurs faits intéressants : d'abord, avec la grande tige, on reconnaît que le pouvoir thermo-électrique, qui a peu varié de 100 à 400°, a augmenté ensuite plus rapidement que la température. Ensuite on voit que l'autre couple à sulfure, qui avait une action moindre que le premier entre 100 et 300°, s'est approché de celui-ci à mesure que la température s'est élevée et a presque atteint la même valeur à 460. Du reste, j'ai constaté avec un certain nombre de barreaux de sulfure dont les actions entre 0 et 100° étaient bien inégales, que vers le rouge, à 500°, il y avait peu de différence entre eux. Mais il me paraît que l'on ne doit pas employer ces couples à des températures aussi élevées ; car, ainsi que je l'ai déjà dit plus haut, le sulfure pourrait alors être décomposé par le courant lui-même : on doit s'arrêter aux effets observés près de la fusion du plomb.

Il est facile de voir que les résultats précédents peuvent trouver leur application dans la construction des piles thermo-électriques, tant celles qui servent pour le rayonnement thermo-électrique, que pour obtenir des forces électro-motrices un peu énergiques.

En ce qui concerne les premières, elles sont composées ordinairement, comme on le sait, de bismuth et d'antimoine; on peut voir, d'après le tableau, page 577, qu'au lieu de bismuth il est préférable d'employer un alliage composé de 10 parties de bismuth et 1 d'antimoine, dont la force électro-motrice est supérieure à celle du bismuth, et qui présente une régularité remarquable dans la manifestation des effets thermo-électriques.

Au lieu d'antimoine il y aurait avantage à se servir de tellure, mais cette matière est d'un prix tellement élevé, qu'on ne peut songer actuellement à son emploi; on peut alors avoir recours à un alliage d'antimoine et de cadmium à équivalents égaux. Cet alliage est plus cassant que l'antimoine; mais en prenant celui qui renferme une quantité de bismuth comprise entre 1/20 et 1/10 de son poids, on le rend assez résistant. Celui que je conseille est formé de :

Antimoine . . . . 806 } équivalents chimiques égaux.
Cadmium. . . . . 696 }
Bismuth, 1/10 en poids du mélange précédent.

On le forme en fondant d'abord l'antimoine dans un creuset; on ajoute ensuite le cadmium et le bismuth, le bain métallique étant couvert d'une légère couche de charbon pulvérisé; puis on le coule aussitôt que la fusion est opérée comme il a été dit précédemment. On peut en former des barreaux de petite dimension que l'on recuit préalablement.

Ces couples ont une force électro-motrice plusieurs fois aussi forte que les couples ordinaires bismuth-antimoine dont on fait usage. M. Rumhkorff a eu l'obligeance de me construire une petite pile thermo-électrique de 30 éléments avec ces alliages; placée dans les mêmes conditions que les piles thermo-électriques ordinaires, bismuth-antimoine, d'un même nombre d'éléments, elle donne avec les galvanomètres des effets qui sont six à huit fois plus considérables. Ces effets sont même plus forts que ne l'indiqueraient les forces électro-motrices des alliages employés; cela proviendrait-il de ce que le pouvoir conduc-

teur de la pile à alliage était meilleur que celui de la pile de comparaison que j'ai employée? C'est ce qu'il faudrait examiner. On pourrait encore aller au delà comme sensibilité, en se servant d'alliages ayant moins de bismuth que 1/10 du poids, ou n'en contenant que la quantité nécessaire pour qu'on puisse couler les barreaux sans les briser, et même, s'il est possible, ne renfermant pas de bismuth, et je ne doute pas, en raison de la facilité de leur construction, que ces piles ne puissent être très-utilement employées dans l'étude de la chaleur rayonnante. On pourrait même, au lieu de souder l'extrémité des couples, couvrir ces extrémités d'un amalgame de mercure et de cuivre, qui établirait d'une manière suffisante la conductibilité électrique.

Pour les piles à forte tension, on peut se servir soit des piles à sulfure de cuivre et maillechort, soit formées avec des alliages d'antimoine etdecadmium, ou d'antimoine et de zinc réunis au maillechort, dont la force électro-motrice est indiquée page 581; car on ne peut songer à avoir recours au tellure dont le prix est trop élevé.

La disposition la meilleure consiste à former chaque couple comme le représente la fig. 7, à placer un certain nombre de couples sur une traverse en bois, à côté les uns des autres, et à échauffer une de leurs extrémités avec un petit jet de gaz enflammé. Ce jet est donné simplement par une ouverture faite dans un tube en fer horizontal en relation avec un conduit de gaz. On peut ainsi avoir aisément, sur une longueur de 40 ou 50 centimètres, 15 ou 20 becs de gaz, et par conséquent 15 ou 20 couples.

J'ai fait disposer ainsi une pile de 30 éléments, dont chaque barreau de sulfure avait de 10 à 12 centimètres de longueur sur 12 millimètres de largeur et 18 millimètres d'épaisseur[1], et en élevant la température d'une des extrémités de chaque couple de 350 à 400° seulement, j'ai pu décomposer rapidement l'eau acidulée au moyen de deux électrodes en platine et fait rougir un petit fil de platine. Cette pile est représentée fig. 9; je l'ai fait fonctionner pendant une semaine d'une manière continue, sans diminution sensible d'intensité.

1. M. Rumhkorff a construit cette pile, qui est actuellement au Conservatoire des arts et métiers.

Si les couples à sulfure de cuivre possèdent une force électro-motrice élevée, étant formés par une matière très-peu conductrice de l'électricité, ils présentent une forte résistance à la conductibilité. Ainsi, en prenant pour unité de résistance la longueur d'un fil de cuivre pur de 1 millimètre de diamètre, le couple à sulfure de cuivre précédemment indiqué, et analogue à un de ceux de la pile précédente, a offert une résistance de 125 mètres, tandis que celui à alliage d'antimoine et de zinc n'en avait qu'une de 1m,8. On ne pourrait donc pas se servir des couples à sulfure de cuivre pour des actions qui demandent des effets de quantité; mais pour des effets de tension dans des circuits résistants, on pourrait les employer. Ainsi, avec la pile précédente, j'ai aimanté un électro-aimant à fil long et fait fonctionner facilement un appareil télégraphique.

Si l'on veut avoir des couples moins résistants, il est préférable de se servir de couples formés par le maillechort et un alliage d'antimoine avec le cadmium ou le zinc ; ces derniers sont moins énergiques que le précédent, mais on les obtient aisément. On peut voir, d'après le tableau de la page 581, quelle est la force électro-motrice de ces différents alliages pour des différences de température de 0 à 100°. Si l'on portait à 400° environ la température des couples d'une pile formée avec ces différentes substances unies au maillechort, on aurait :

		Nombre de couples nécessaires pour donner une force électro-motrice équivalente à un élement hydro-électrique à sulfate de cuivre.
Pile à sulfure de cuivre et maillechort		entre 8 et 9 couples
Pile à alliage d'antimoine et de cadmium équiv. égaux, plus $\frac{1}{10}$ de bismuth	et maillechort.	entre 10 et 15 —
Pile à alliage d'antimoine et de zinc équivalents égaux, plus 1/10 de bismuth	et maillechort.	entre 15 et 20 —

On admet que la seconde extrémité de chaque couple est 0; si la température s'élève par l'action du foyer calorifique, alors les derniers nombres s'élèvent davantage, car la force électro-motrice diminue dans chaque couple.

Les réunions des substances thermo-électriques citées précédemment sont celles qui, étant produites artificiellement,

donnent les effets les plus énergiques; peut-être irait-on au delà avec les minéraux naturels, mais ces matières étant rares et ne se montrant pas toujours identiques à elles-mêmes, on n'est pas certain d'obtenir des résultats analogues à ceux que donnent le sulfure de cuivre et les alliages d'antimoine dont il a été question.

En raison des faibles forces électro-motrices des piles thermo-électriques les plus énergiques, même dans les circonstances les plus favorables, comparativement à celles que donnent les piles hydro-électriques, je ne pense pas que les piles thermo-électriques puissent être employées de préférence à ces dernières; d'un autre côté, on doit faire une remarque qui n'a pas d'importance au point de vue économique, mais seulement au point de vue théorique : c'est que ces piles n'utilisent qu'une faible partie de la chaleur communiquée aux couples, tandis que dans les piles hydro-électriques à courant constant on peut utiliser toute l'action chimique intérieure. Mais, dans des recherches spéciales, ou en vue de travaux relatifs au rayonnement de la chaleur, les piles thermo-électriques décrites dans ce mémoire offrent des facilités nouvelles, et sous ce rapport méritent d'attirer l'attention.

La comparaison des pouvoirs thermo-électriques des corps, comme on a pu le voir d'après ce travail, présente un sujet d'étude des plus intéressants, en ce qu'elle montre que des changements en apparence très-faibles, ainsi que la présence de faibles quantités de matière, modifient profondément les propriétés physiques des corps, et qu'elle conduit à la construction d'appareils nouveaux d'une grande utilité.

ÉTUDE SUR L'AIR ATMOSPHÉRIQUE.

CONFÉRENCE FAITE A LA SORBONNE LE 2 MARS 1866.

PAR M. EUG. PELIGOT.

En prenant pour sujet de cette conférence l'étude de l'air, je ne me suis pas proposé de revenir sur des questions déjà traitées dans cette enceinte par des professeurs éminents. Je ne parlerai donc pas des propriétés physiques de l'atmosphère gazeuse qui nous environne. Je laisserai de côté sa composition chimique, l'étude des phénomènes de la vie et de la combustion vive ou lente, qui sont dus à l'un des éléments qu'il renferme. Il m'a semblé que les connaissances chimiques sont aujourd'hui assez répandues pour qu'il soit permis d'aborder devant vous un point circonscrit de la science. J'ai lu quelque part qu'un académicien du siècle dernier, chargé d'enseigner l'algèbre à l'un des enfants de France, disait à son élève, un peu découragé par les formes arides de cette étude : « Monseigneur, il n'y a pas de routes « royales pour l'algèbre. » Ces routes, bien qu'elles aient changé de nom, existent désormais pour la chimie; inaugurées à la fin du siècle dernier par Fourcroy, elles ont été continuées avec grand succès, et dans ces lieux mêmes, par Thenard, par M. Dumas et par d'autres professeurs illustres. Mais à côté de ces voies de grande communication, il y en a d'autres moins fréquentées, des chemins de traverse, si vous voulez. C'est un de ces chemins que nous prendrons aujourd'hui pour aller à la découverte de quelques points de vue, de quelques horizons nouveaux qui échappent à la foule, et qui, bien qu'un peu délaissés par l'enseignement classique de la chimie, obligé qu'il est de se concentrer sur les points les plus essentiels de la

science, n'en présentent pas moins pour l'observateur attentif un très-réel intérêt.

En conséquence, laissant de côté la composition de l'air en ce qui concerne ses principaux éléments, c'est-à-dire l'azote, l'oxygène et l'acide carbonique, je me propose d'appeler votre attention sur quelques-uns des corps qu'on y trouve en petite quantité. Ces corps sont notamment l'ozone, l'iode et certaines matières minérales qu'il renferme ou qu'il peut renfermer accidentellement.

Je rappellerai néanmoins en quelques mots ses principales propriétés. L'air atmosphérique est la masse gazeuse qui enveloppe notre globe et qui l'accompagne dans sa marche régulière dans l'espace. La hauteur de cette masse gazeuse est de 50 à 60 kilomètres. Son poids est énorme; d'après Marchand il serait représenté par 5,263,623,000,000,000,000 kilogrammes; d'après MM. Dumas et Boussingault, ce poids ferait équilibre à 581,000 cubes de cuivre, chacun de ces cubes ayant un kilomètre de côté.

Ses principales propriétés physiques, notamment sa pesanteur, sont connues depuis deux siècles. La connaissance de ses principales propriétés chimiques remonte à moins d'un siècle. C'est en effet, en 1774, que Lavoisier démontra que l'air est composé de deux gaz doués de propriétés différentes, presque opposées, l'azote et l'oxygène. Cette année 1774 est une date à jamais mémorable dans l'histoire des sciences, des arts et de la civilisation. Si la composition de l'air nous était inconnue comme elle l'était à nos pères, si elle ne nous avait pas été révélée par Lavoisier, personne ne peut affirmer que les grands progrès scientifiques et industriels auxquels nous assistons, et dont nous sommes fiers à juste titre, ne seraient pas encore à réaliser.

L'air atmosphérique est presque entièrement composé d'azote et d'oxygène. Dans un mètre cube d'air ou 1,000 litres, il y a environ 792 litres d'azote et 208 litres d'oxygène. Ainsi l'oxygène entre pour un peu plus d'un cinquième dans la composition de l'air.

En outre, comme éléments essentiels et facilement appréciables, bien qu'en petite quantité, l'air contient de l'acide carbonique et de l'eau à l'état de vapeur.

Il renferme 2 à 3 dix-millièmes d'acide carbonique. Ainsi, 10,000 litres d'air contiennent 2 à 3 litres d'acide carbonique.

Quant à la vapeur d'eau, sa proportion est essentiellement variable.

De plus, l'air renferme en très-petite quantité de l'ammoniaque provenant de la décomposition incessante des êtres organisés, — de l'iode, — des carbures d'hydrogène, notamment du gaz des marais qui se dégage des eaux stagnantes et des endroits marécageux, — peut-être de l'oxyde de carbone; — en outre, des myriades de corpuscules de nature et d'origine très-diverses, invisibles dans les conditions ordinaires, mais qui se révèlent à nous quand un rayon du soleil pénètre par une fente étroite dans une chambre obscure. Ces corpuscules sont des substances minérales empruntées par le vent au sol et aux vagues de la mer; elles sont maintenues en suspension dans l'air par son mouvement incessant. Ce sont aussi des êtres organisés, au nombre desquels se trouvent ces germes des moisissures qui se développent dans les liquides fermentescibles, altérables à l'air et par l'air, germes dont l'existence, révélée par M. Pasteur, a réduit à néant l'hypothèse si longtemps controversée des générations spontanées.

En dehors de ces corps, déjà fort nombreux, il en existe certainement d'autres qui nous échappent, en raison de leur petitesse et de l'imperfection, encore très-grande, des moyens d'investigation que nous possédons en ce qui concerne l'étude des mélanges gazeux. Il ne faut pas l'oublier : de même que l'eau, en contact avec la terre, agit comme dissolvant sur tous les produits solubles qu'elle renferme, produits qui se retrouvent en si grand nombre dans l'eau des mers; de même l'air est le milieu dans lequel se réunissent toutes les substances gazeuses ou volatiles qui existent ou qui se produisent, soit dans les grands phénomènes géologiques et météorologiques, soit dans les actions qui président à la vie des êtres organisés ou qui s'accomplissent après leur mort. A ces substances viennent s'ajouter celles qui résultent des actions chimiques mises en jeu dans les opérations métallurgiques qui ont pour objet la séparation des métaux de leurs minerais, et dans la fabrication de différents produits industriels. Ainsi la production du coke, le grillage des minerais sulfurés, la fabrication du sulfate de

soude, jettent dans l'atmosphère des quantités considérables d'oxyde de carbone, de carbures d'hydrogène, d'ammoniaque, d'acide sulfhydrique, d'acide sulfureux, d'acide chlorhydrique. Mais ces causes d'altération se trouvent habituellement concentrées dans un rayon assez restreint autour de leurs lieux de production. Ces corps n'existent dans l'air qu'accidentellement; ils se trouvent bientôt anéantis, tant par l'action dissolvante des eaux pluviales, qu'en raison de cette circonstance, que beaucoup de substances gazeuses ne peuvent pas se rencontrer sans que leur mélange donne immédiatement naissance à des combinaisons ordinairement solides et solubles dans l'eau. Ainsi l'acide sulfureux est incompatible avec l'acide sulfhydrique; l'acide chlorhydrique ne peut coexister avec l'ammoniaque, etc.

Aussi, en tenant compte de l'action de l'eau qui balaye l'atmosphère, qui la débarrasse *de ses immondices*, et en même temps de cette incompatibilité des gaz; en se souvenant surtout de cette admirable harmonie naturelle qui rend le règne végétal solidaire du règne animal, les végétaux s'appropriant, par l'entremise de l'air, l'acide carbonique et l'ammoniaque qui résultent de la respiration des animaux ou de leur décomposition après la mort, on arrive à cette conclusion que l'air, pris dans son ensemble, doit se maintenir toujours le même, sous le rapport de sa composition et de ses propriétés, bien que sur certains points cette composition puisse présenter des variations légères, variations plus ou moins appréciables par nos procédés actuels d'investigation.

Ozone. — Au nombre de ces variations, il en est une sur laquelle j'appellerai d'abord toute votre attention. C'est la modification particulière que subit l'oxygène, l'élément le plus essentiel, l'élément *vital* de l'air, dans des circonstances particulières, encore assez mystérieuses et mal définies.

Un chimiste de Bâle, M. Schoenbein, a annoncé, il y a vingt-cinq ans, que l'oxygène qui se dégage au pôle positif de la pile dans la décomposition de l'eau par un courant voltaïque, possède des propriétés différentes de celles de l'oxygène obtenu par d'autres procédés, notamment par la décomposition de l'oxyde rouge de mercure au moyen de la chaleur : on sait que c'est par

ce procédé que Lavoisier a séparé à l'état de pureté l'oxygène de l'air atmosphérique.

L'annonce de ce résultat ne fut pas accueillie d'abord sans quelque hésitation. L'auteur de cette découverte crut lui-même d'abord à l'existence d'un composé nouveau plutôt qu'à une modification subie par l'oxygène. Il revint plus tard sur cette opinion, et de nombreux travaux ont établi que l'oxygène peut offrir, selon le mode qu'on a suivi pour l'obtenir, une modification profonde tant dans ses propriétés physiques que dans ses propriétés chimiques. Ce fait de l'existence pour le même corps de propriétés différentes avait déjà été constaté pour plusieurs autres corps élémentaires.

A leur tête vient se placer, par droit d'ancienneté, le carbone. A l'état amorphe, le carbone est du charbon, ou du noir de fumée. Le charbon est une substance noire, opaque, friable; c'est l'un des corps les plus utiles et les plus communs; à l'état cristallisé, le carbone devient le diamant, l'une des substances les plus rares, et je dirai peut-être les moins utiles, si je ne risquais d'être entendu ici par beaucoup de dames.

Le soufre, dans son état ordinaire, est jaune et friable. Chauffé à une température un peu élevée et refroidi brusquement, il est brun et il est devenu plastique. Selon son mode de préparation, il est tantôt soluble, tantôt insoluble dans divers liquides, notamment dans le sulfure de carbone.

Le phosphore ordinaire est un corps très-combustible, très-inflammable, fusible à une température peu élevée. Maintenu longtemps à la température de 250 à 300°, il perd sa fusibilité; de transparent et incolore qu'il était, il devient rouge et opaque. Il est devenu beaucoup moins combustible. C'est le phosphore rouge, le phosphore amorphe, découvert il y a vingt ans, par M. Schroetter, de Vienne.

Le soufre ordinaire et le soufre mou sont un seul et même corps; il en est de même du phosphore transparent et du phosphore rouge. Le même agent, la chaleur, permet d'obtenir à volonté ces corps sous l'une ou l'autre de ces modifications. Il n'en est pas tout à fait de même, à la vérité, du carbone, que nous ne savons pas encore faire passer de l'état de charbon noir à l'état de diamant; mais ce n'est peut-être qu'une affaire de temps; car déjà avec du diamant nous pouvons faire du charbon

noir. M. Jacquelain a montré, en effet, qu'en soumettant le diamant à la température excessivement élevée que l'arc voltaïque produit entre deux cônes de charbon, on le transforme en une matière noire, boursoufflée, identique avec le coke. Ainsi, pour le carbone lui-même, la moitié du chemin est déjà faite; l'autre moitié, c'est-à-dire la transmutation du charbon en diamant, sera peut-être parcourue par nos successeurs.

Ainsi chacun de ces corps peut se présenter à nous sous une forme différente, avec des propriétés différentes, tout en restant un seul et même corps, donnant naissance, en s'unissant à d'autres corps, à des composés identiques.

L'oxygène présente les mêmes caractères : obtenu par le procédé que je viens de rappeler, ou bien par d'autres méthodes qui consistent à soumettre à une température plus ou moins élevée les substances oxygénées qui peuvent fournir ce gaz, tels que le bioxyde de manganèse et le chlorate de potasse, c'est un gaz sans odeur; l'oxygène provenant de la décomposition de l'eau froide par la pile est odorant, d'une odeur alliacée; de là le nom d'*ozone* qu'on lui a donné.

On l'appelle aussi *oxygène électrisé*, car il se produit surtout sous l'influence de l'électricité. Déjà en 1789, Van Marum, en faisant éclater des étincelles électriques dans des tubes renfermant de l'oxygène, avait constaté la production de cette même odeur alliacée que l'air lui-même présente quelquefois lorsqu'il est traversé par la foudre. Mais l'observation de Van Marum avait été entièrement oubliée jusqu'en 1840, époque à laquelle M. Schoenbein fit connaître ses remarquables expériences sur la production de ce corps.

Bien que l'ozone n'ait pas été obtenu jusqu'ici à l'état de pureté, bien que l'oxygène ordinaire ou l'air qui en renferme n'en contienne pas, au plus, au delà de 1 à 2 p. 100, sa présence se reconnaît facilement par suite de l'extrême activité chimique dont il est doué. A la température ordinaire, il oxyde le mercure, l'antimoine et même l'argent. Il détruit les composés hydrogénés gazeux, notamment l'ammoniaque qu'il transforme en azotate d'ammoniaque. En présence des alcalis, il se combine avec l'azote atmosphérique et donne naissance à des azotates. Ce fait donne peut-être la clef des phénomènes qui engendrent le

nitre dans la nature, phénomènes encore obscurs quoique bien souvent étudiés.

Comme le chlore, l'ozone détruit les matières colorantes végétales. D'après des expériences faites par un botaniste éminent, M. Duchartre, sur la production du lilas blanc dans les serres pendant l'hiver, production qui donne lieu à Paris à un commerce considérable, c'est peut-être à l'existence de l'ozone dans les serres que les touffes de lilas appartenant aux variétés colorées, telles que le lilas de Marly, doivent la propriété de fournir des fleurs blanches quand on les soumet à une culture forcée. L'absence de la lumière ne suffit pas, en effet, pour expliquer cette modification de couleur, pas plus que l'élévation de la température de la serre. Une touffe de lilas, dont une partie végète à l'air et l'autre dans la serre, donne des fleurs blanches dans la serre et des fleurs lilas dans la partie exposée à l'air libre.

L'ozone agit aussi à la manière du chlore sur l'iodure de potassium; il met l'iode en liberté en se combinant avec le potassium. L'oxygène ordinaire est sans action sur ce composé.

Il prend naissance dans des conditions assez nombreuses:

1° Par l'action prolongée des étincelles électriques sur l'oxygène, ce gaz n'éprouve qu'une transformation partielle; mais si l'on prend soin de l'absorber par l'iodure de potassium au fur et à mesure de sa production, ainsi que l'ont fait MM. Fremy et Becquerel, la transformation de l'oxygène en ozone est complète;

2° En électrolysant l'eau froide légèrement acidulée;

3° En décomposant à froid le bioxyde de baryum par l'acide sulfurique concentré (procédé de M. Houzeau) ou le permanganate de potasse par le même acide;

4° Par l'oxydation lente et partielle d'un grand nombre de corps. La substance qui donne les meilleurs résultats est le phosphore ordinaire mis en contact avec l'air humide; au bout de quelques minutes, la présence de l'ozone est rendue manifeste par la coloration en bleu du papier ozonométrique de Schoenbein. D'après ce chimiste, dans ces oxydations, il se produit aussi une petite quantité d'eau oxygénée, composé fort remarquable découvert en 1818 par notre vénéré maître M. Thenard. Comme l'eau oxygénée se décompose elle-même avec une extrême facilité sous l'influence des substances les plus diverses,

il existe une très-grande ressemblance entre les phénomènes produits par ces deux corps; cette ressemblance est telle qu'il est toujours difficile de distinguer la production de l'ozone d'avec celle de l'eau oxygénée; la même confusion se présente en ce qui concerne leur action sur les corps. Il existe évidemment entre l'ozone et l'eau oxygénée une parenté très-étroite. On peut même, d'après M. Schoenbein, considérer l'eau oxygénée comme renfermant l'oxygène sous deux états : à l'état d'oxygène ordinaire, il est combiné avec une molécule d'hydrogène pour constituer l'eau, le protoxyde d'hydrogène, corps très-stable; l'autre molécule d'oxygène, unie à l'eau par une affinité très-faible, toujours prête à se séparer de ce corps, serait à l'état d'ozone.

Plusieurs des circonstances dans lesquelles l'ozone prend naissance ont conduit à admettre que ce corps peut exister dans l'air, sinon d'une façon permanente, au moins dans des conditions accidentelles. Ainsi, lorsque l'air est fortement chargé d'électricité, lorsqu'il est sillonné par des éclairs nombreux, une faible quantité de son oxygène serait transformée en ozone. Les parties vertes des plantes sous l'influence de la lumière solaire fourniraient de l'oxygène ozoné. Dans les oxydations lentes, si fréquentes à la surface de la terre, une petite quantité de ce corps peut aussi se développer.

M. Schoenbein a cherché à mesurer l'ozone atmosphérique en exposant au contact de l'air un papier dit *ozonométrique*, qui, par sa coloration bleue plus ou moins intense, permet d'apprécier comparativement la présence ou l'absence de l'oxygène ainsi modifié. L'emploi de ce papier repose sur la propriété que possède l'ozone de décomposer l'iodure de potassium : l'iode, qui devient libre, forme avec l'amidon une belle matière colorante bleue. On le prépare en trempant pendant douze heures du papier à lettre déjà collé à l'amidon dans une faible dissolution d'iodure de potassium, contenant 1 partie d'iodure dissoute dans 100 parties d'eau. Ce papier, séché et découpé en petites bandes, est le papier ozonométrique de Schoenbein. Il reste incolore dans l'air ordinaire; il bleuit dans l'air plus ou moins chargé d'ozone.

La nuance qu'il présente après une exposition à l'air plus ou moins prolongée est comparée à la coloration de bandelettes de papier teintes d'une manière permanente, à nuances dégradées,

numérotées de 0 à 10: la bande n° 0 est incolore; la bande n° 10 est la plus foncée. Mais, il faut le reconnaître, bien que des observations nombreuses aient été faites avec ce papier, les indications qu'il fournit sont considérées par beaucoup de chimistes comme fort incertaines. Beaucoup de corps partagent avec l'ozone la propriété de le bleuir. Tels sont les composés nitreux, les acides, l'eau oxygénée, le chlore, le brome, l'iode, les vapeurs d'huiles essentielles, notamment l'essence de térébenthine (M. Cloez). Or, plusieurs de ces corps peuvent exister accidentellement dans l'air et fournir au papier Schoenbein les mêmes indications que l'ozone.

Aussi M. Houzeau, auquel on doit des observations fort intéressantes sur la production de l'ozone, fait-il usage d'un papier d'une autre nature. C'est un papier de tournesol rouge vineux, dont la moitié a été trempée dans une dissolution neutre et étendue d'iodure de potassium. Sous l'influence de l'ozone, la partie iodurée, devenant alcaline par suite de la mise en liberté et de la volatilité de l'iode, prend une teinte bleue. La partie non iodurée, conservant sa couleur normale, prouve à l'observateur que la coloration que présente l'autre partie n'est pas due à l'intervention de vapeurs acides ou ammoniacales qui peuvent également se rencontrer dans l'air.

Le même résultat s'obtient, en ce qui concerne la constatation de l'ozone, en plaçant à coté du papier blanc de Schoenbein un papier de tournesol bleu qui rougirait sous l'influence des vapeurs acides. Comme dans la plupart des cas ce dernier papier reste bleu, on peut admettre, dans mon opinion, que les indications fournies par le papier ioduré sont suffisantes pour constater la présence de l'ozone dans l'air. Il paraît, en outre, établi que les divers corps qui se trouvent dans l'air sont en quantité trop minime pour exercer sur le papier ozonométrique, déjà assez peu sensible par lui-même, une action appréciable. On s'efforce, d'ailleurs, de toutes parts, d'apporter des perfectionnements à la constatation de l'ozone atmosphérique, l'un des phénomènes les plus intéressants, les plus actuels de la météorologie. Ainsi, tout récemment, un observateur de la Havane, M. André Poëy, a construit un ozonographe destiné à enregistrer automatiquement, de demi-heure en demi-heure, l'ozone atmosphérique.

Au point de vue de la météorologie, de très-nombreuses observations ont déjà été faites et se font actuellement dans un grand nombre de localités; bien qu'il soit difficile de tirer de ces observations des déductions bien nettes, bien qu'elles soient souvent contradictoires, on ne saurait trop encourager ceux qui se livrent avec persévérance à cette étude difficile et laborieuse.

L'un des faits néanmoins qui me semble ressortir de ces observations, c'est que la production de l'ozone est un phénomène atmosphérique beaucoup plus qu'un phénomène résultant des actions qui se produisent au sein ou à la surface de la terre. Ainsi, bien que les observations persévérantes faites à Rouen par M. Houzeau aient établi que la manifestation de l'ozone a lieu particulièrement au printemps et pendant l'été, tandis que ce corps n'existe dans l'air que rarement pendant l'hiver et pendant l'automne, il ne paraît pas qu'on doive attribuer au développement des végétaux une part bien grande dans la manifestation de ce phénomène. Il semble probable, au contraire, que les vents qui viennent de la mer sont ceux qui nous apportent la plus grande quantité d'air ozonisé. Sous l'influence des bourrasques, des tempêtes, des ouragans, de l'évaporation et du transport de l'eau et des actions électriques qui accompagnent ces phénomènes au sein des mers, l'ozone se développe, et ce corps nous arrive avec les vents qui soufflent sur nos côtes. Ainsi, de nombreuses observations faites dans ces derniers temps, à la demande de M. Le Verrier, ont nettement constaté que pour nous l'ozone existe surtout dans l'air lorsque les vents viennent de l'ouest et du sud-ouest.

La présence de l'ozone dans l'air peut-elle exercer une influence quelconque sur la santé publique? Cette question importante a donné lieu à bien des opinions contradictoires.

M. Schoenbein a émis le premier l'opinon que l'oxygène sous cette forme est un agent destructeur des gaz méphitiques, des miasmes qui existent dans divers pays, soit normalement, soit, en temps d'épidémie, d'une façon accidentelle. Ces miasmes, transportés par l'air ou dégagés par la putréfaction des matières végétales et animales, sont transformés par l'ozone, qui les brûle, en matières inertes, sans action nuisible sur notre économie; de sorte que l'ozone serait comme un correctif versé

dans l'air par la Providence pour le purifier ou pour le maintenir dans un état convenable de salubrité.

Schroeder a trouvé que la putréfaction des matières animales n'a pas lieu dans l'air ozonisé; un œuf conservé dans cet air pendant trente-huit jours n'avait subi aucune altération. Un trois-millionième d'ozone dans l'air suffirait pour en assurer la salubrité au point de vue de la destruction des miasmes. La proportion qu'on en trouve dans l'air peut varier de 1 à 10 cent-millièmes.

Cette action dépurative n'est pas, d'ailleurs, en contradiction avec cette autre observation, que l'ozone, mêlé à l'air en proportion exceptionnelle, peut exercer sur nos organes respiratoires une action délétère marquée, ainsi que l'ont observé, en 1847, les professeurs de médecine de Bâle. Ce serait même, selon un médecin de Bombay dont je parlerai tout à l'heure, à sa concentration dans l'atmosphère, dans des circonstances particulières, qu'il faudrait attribuer, en partie, les effets si terribles produits par le simoun dans les déserts de l'Afrique.

Cette action de l'ozone, bienfaisante selon les uns, nuisible ou nulle selon les autres, nous conduit naturellement à l'examen de cette question : Existe-t-il une certaine relation entre l'existence de l'ozone dans l'air et le développement des maladies épidémiques, notamment du choléra?

Je n'étonnerai personne en disant que sur cette question (comme sur plusieurs autres) nos médecins ne sont pas d'accord. Néanmoins, si les observations nombreuses et patientes faites à Versailles, depuis plus de dix ans, par M. Bérigny, ne donnent encore aucune indication bien précise à cet égard, M. Bockel a tiré de ses expériences, faites à Strasbourg, en 1854 et 1855, cette conclusion, qu'il existait une relation intime entre le développement du choléra et la diminution ou l'absence de l'ozone dans l'air : l'ozone avait disparu au commencement de l'épidémie; il avait reparu quand le choléra disparaissait à son tour.

Le travail le plus considérable, j'ajouterai le plus autorisé qui ait été fait sur cette importante question, est un travail tout récent qui nous arrive de l'Inde. Il est dû à un médecin de Bombay, le docteur Cook. C'est une relation de l'enregistrement de l'ozone dans la présidence de Bombay, pendant les années

1863 et 1864, expériences faites en exécution des ordres de l'inspecteur général du service de santé de cette présidence. Ces observations ont été faites simultanément, pendant toute l'année, le jour et la nuit, dans seize stations qui sont les divers hôpitaux civils et militaires du pays.

Vous le voyez, on ne peut pas dire cette fois :

C'est du Nord aujourd'hui que nous vient la lumière.

Le travail du docteur Cook présente une importance qui n'échappera à personne, en raison des conditions dans lesquelles il a été exécuté. Si l'Inde n'est pas, comme beaucoup le pensent, la mère-patrie du choléra, il est certain que cette maladie y exerce ses ravages d'une façon presque continue. D'une autre part, l'élévation de la température, l'état habituellement électrique de l'air et d'autres circonstances, y rendent la présence de l'ozone plus fréquente et sa constatation plus facile qu'ailleurs.

Le docteur Cook[1] tire des résultats numériques très-nombreux qu'il a enregistrés cette conclusion, qu'il existe une connexité évidente entre l'absence ou la décroissance de l'ozone dans l'air et la présence du choléra ; il en est de même pour la dyssenterie et les fièvres intermittentes. Quand l'ozone existe dans l'air en proportion relativement grande, ces maladies disparaissent ; quand il diminue, elles font de nouvelles victimes.

Ainsi, vous le voyez, cette question de l'ozone n'est pas une petite question ; de Versailles à Bombay, elle a donné déjà lieu à bien des recherches. C'est donc avec raison que l'illustre directeur de l'observatoire de Paris l'a rangée au nombre des questions importantes dont la météorologie ait à s'occuper désormais.

Iode. — J'arrive à un autre corps dont la présence dans l'air a aussi donné lieu à de nombreux travaux contradictoires. L'air atmosphérique renfermerait une très-petite quantité d'iode. Ce résultat, annoncé par M. Chatin en 1850, a été accueilli, par la plupart des chimistes, avec une certaine incrédulité. Aujourd'hui même, cette impression existe encore, à tel point que, tout

1. Un extrait étendu du rapport très-intéressant du docteur Cook, rapport inédit en France, est publié dans ce numéro des *Annales du Conservatoire.*

récemment, M. Chatin a demandé à l'Académie des sciences la nomination d'une commission qui serait chargée de vérifier les faits qu'il a avancés.

Avant d'exposer les méthodes qu'on emploie pour déceler la présence de ce corps, il me paraît indispensable de faire connaissance avec lui et d'indiquer ses principales propriétés.

C'est en 1813 que l'iode a été découvert par un salpêtrier de Paris, Courtois. Peu de temps après, Gay-Lussac, auquel Courtois avait remis une certaine quantité de la nouvelle substance, en fit une étude tellement complète, tellement magistrale, qu'il laissa bien peu de chose à faire à ceux qui s'en occupèrent après lui.

L'iode forme, avec le fluor, le chlore et le brome dont la découverte fut faite dix ans plus tard par M. Balard, une sorte de famille naturelle, dans laquelle l'iode occupe le dernier rang sous le rapport de ses affinités générales.

Les propriétés de ce corps sont fort intéressantes. D'une couleur gris d'acier, il émet, à la température ordinaire, des vapeurs que leur couleur violette permet de reconnaître aisément. Fusible à 107 degrés, il entre en ébullition à 180 degrés, en se transformant en un gaz très-dense, d'une magnifique couleur violette. De là, le nom que Gay-Lussac lui a donné. Il fournit, en s'unissant à l'argent, un composé très-impressionnable à la lumière, dont la photographie tire le plus grand parti; employé à faibles doses, sous des formes très-diverses, il constitue un médicament fort précieux. Avant que ce corps ait été découvert, les cendres provenant de la calcination des éponges, cendres qui renferment de l'iode, étaient déjà employées pour le traitement du goître. L'huile de foie de morue, médicament si usité aujourd'hui, doit, en grande partie, son efficacité à l'iode qu'elle renferme.

La source principale de l'iode est l'eau des mers, qui n'en contient pourtant qu'une faible quantité, environ 6 milligrammes par litre, soit 6 parties d'iode dans 1,000,000 parties d'eau. Ce corps s'y rencontre, à l'état d'iodure alcalin. Certaines plantes qui se développent dans la mer, notamment les varechs, les diverses variétés de fucus que les vagues rejettent sur le rivage à certaines époques de l'année, ont la faculté de s'assimiler ce corps en proportion notable, de telle sorte que, par leur inciné-

ration, on obtient une cendre dite *soude de varech*, qui contient 5 à 6 p. 100 d'iodures alcalins, et dont l'eau-mère, qui reste après la séparation des autres sels, est employée pour l'extraction de l'iode.

Bien qu'on eût déjà constaté la présence de l'iode dans un certain nombre de matières minérales, dans les poissons de mer et dans d'autres produits marins, on considérait, il y a quinze ans, ce corps comme étant assez peu commun, lorsqu'en 1850 M. Chatin annonça que l'iode existait dans tous les végétaux aquatiques. En poursuivant ses recherches, il en constata la présence dans les eaux douces et dans les animaux qui vivent dans ces eaux, tels que les moules, les sangsues, les écrevisses, les grenouilles, les différents poissons ; il n'est pas jusqu'aux goujons de la Seine qui n'en renferment une petite quantité. Il en est de même du sol et aussi des plantes qui se développent sous l'influence de ces eaux.

Comme conséquence de ces faits, M. Chatin a été conduit à rechercher l'iode dans l'eau pluviale; il a constaté que cette eau en renfermait. Enfin, il a cherché ce corps dans l'air atmosphérique, et il l'y a trouvé.

Ainsi l'iode, considéré d'abord comme un des corps les plus rares, se trouve être aujourd'hui l'un des corps les plus répandus, tant dans la nature organique que dans le règne minéral. Si toutes les observations de M. Chatin sont exactes, et, bien que d'abord contredites, elles sont aujourd'hui confirmées pour la plupart, il serait plus difficile de rencontrer des corps dépourvus d'iode que des corps qui en contiennent.

A la vérité, la quantité d'iode qu'on trouve dans l'air est extrêmement petite; en outre, l'air n'en renferme pas toujours et partout. Ainsi, 4000 litres d'air de Paris contiendraient en moyenne environ $\frac{1}{200}$ de milligramme d'iode. Comme ce corps (qu'il soit dans l'air à l'état libre ou à l'état combiné, ce qu'on ne sait pas encore) est soluble dans l'eau, on le retrouve en plus notable quantité dans l'eau pluviale, ou dans les poussières organiques qu'elle entraîne avec elle; 10 litres de cette eau en contiendraient de $\frac{1}{10}$ à $\frac{1}{5}$ de milligramme.

Quelle est l'origine de l'iode dans l'air? On ne paraît pas, jusqu'à présent, s'être beaucoup préoccupé de cette question. Il me semble probable que son origine doit se trouver aussi dans

l'eau des mers, dans les produits de son transport, dans ces produits qu'Arago appelle quelque part les *poussières de l'Océan*. Au nombre des matières entraînées mécaniquement par les vents, doit se trouver une très-petite quantité d'iodures qui peuvent exister en suspension dans l'air, et qui, même sous diverses influences, notamment sous l'influence de l'ozone, peuvent donner naissance soit à de l'iode libre, soit à de l'iode uni à des matières organiques. S'il en est ainsi, on peut expliquer la présence de l'iode dans les localités découvertes ou voisines des côtes, à l'exclusion de celles qui en sont éloignées ou qui sont abritées par des montagnes, comme sont les vallées des Alpes et des Pyrénées.

Mais par quels moyens arrive-t-on à reconnaître de si petites quantités d'iode? C'est à l'aide de réactions d'une excessive sensibilité que je vais vous indiquer en quelques mots.

Nous avons vu que l'iode, à l'état libre, possède la propriété de fournir, avec l'amidon, une belle matière colorée bleu indigo. A l'état d'iodure, il est sans action sur ce même corps, mais la couleur apparaît aussitôt qu'il est mis en liberté par l'intervention d'un autre corps, tel que le chlore, l'acide azoteux, etc.

Cette réaction, employée par des mains exercées, permet de constater sûrement la présence de quantités d'iode excessivement petites. Mais l'écueil est dans sa sensibilité même. On peut se demander si, en raison même de l'extrême diffusion de l'iode, les réactifs mêmes qu'on emploie n'apportent pas avec eux l'iode dont on cherche à constater la présence. Les acides, les alcalis, les métaux, presque tous les agents chimiques contiennent de l'iode. Est-on bien sûr de les purifier suffisamment pour qu'ils n'en renferment plus la moindre trace lorsqu'on les emploie pour rechercher la présence de ce corps? Cet iode, qui viendrait de l'eau ou de l'air, ne vient-il pas tout simplement des réactifs?

La question en est à ce point. Pour beaucoup de chimistes, elle est encore douteuse. S'il m'est permis d'émettre ici une opinion toute personnelle, je dirai que, pour moi, l'existence de l'iode dans l'air est un fait sinon certain, au moins extrêmement probable. M. Bouis, auquel on doit de très-bons travaux sur l'analyse des eaux, a constaté souvent, dans l'eau pluviale, la

présence de l'iode. Tout récemment, j'ai fait avec lui la même constatation. 4 litres d'eau pluviale ont été évaporés à siccité, après addition de 4 décigrammes de carbonate de potasse pur. Le résidu, légèrement calciné pour carboniser les matières organiques que l'eau de pluie renferme habituellement, a été repris par l'alcool. La dissolution alcoolique a été évaporée à son tour. Le nouveau résidu, mis en contact avec quelques gouttes d'une dissolution d'amidon et d'une goutte d'acide azotique, a donné, de la façon la plus manifeste, la coloration bleue due à la formation de l'iodure d'amidon. *Or il est évident que si l'eau de la pluie contient de l'iode, l'air atmosphérique en renferme également.*

Si petites que soient, d'ailleurs, ces quantités, on ne peut nier, si elles existent, qu'elles ne puissent exercer sur la santé publique une influence marquée. Les travaux de M. Chatin, et ceux de plusieurs autres savants, tendent à établir que le goître, pour la guérison duquel l'iode est un médicament très-efficace, et le crétinisme, qui sont des affections endémiques, se rattachent, comme fait général, à la quantité d'iode plus ou moins grande qui existerait dans l'air, dans les eaux, et, par suite, dans le sol et dans les aliments qu'il nous fournit. M. Chatin a reconnu que, sur les sommets et dans les vallées des Alpes, l'air et les eaux sont très-pauvres en iode; le goître et le crétinisme y sont très-communs. Ces affections disparaissent ou sont moins fréquentes à une certaine distance des grands massifs montagneux; l'air et l'eau y contiennent de l'iode. Ainsi, d'après une classification géographique essayée par M. Chatin, l'iode serait à son maximum à Paris, à Orléans, à Londres; sa consommation, par individu, serait de $\frac{1}{50}$ de milligramme par vingt-quatre heures, sous forme d'air, d'eau, d'aliments; dans ces conditions le goître serait à peu près inconnu. Cette maladie est extrêmement commune, au contraire, dans certaines parties des Alpes, dans lesquelles la consommation de l'iode ne serait plus que de $\frac{1}{500}$ de milligramme. Si ces conjectures sont vérifiées, l'échange des produits des diverses contrées et l'emploi du sel marin légèrement ioduré amèneraient, plus ou moins rapidement, la disparition complète de ces maladies.

L'influence de la mer sur la composition de l'air atmosphérique se fait également sentir lorsqu'il s'agit de déterminer la

nature et la proportion des matières qui se trouvent dans l'eau de la pluie. Chaque kilogramme d'eau de mer pulvérisée par le vent et évaporée dans l'air y laisse 30 à 40 grammes de matières salines de nature très-complexe, lesquelles peuvent être transportées à de grandes distances, bien qu'elles soient plus abondantes dans l'air qui avoisine les côtes. Ces matières, de même que celles qui résultent de l'altération des produits organiques au sein de la terre, se retrouvent dans l'eau pluviale. Celle-ci renferme, en effet, une petite quantité de matières salines, notamment de l'azotate d'ammoniaque, élément très-fertilisant, de l'ammoniaque à l'état de carbonate, du sel marin, des sulfates de soude, de potasse, de magnésie et de chaux, de l'iode, etc., et diverses matières organiques encore peu étudiées.

Bien que la somme de ces sels ne représente à Paris que quelques milligrammes par litre d'eau, la quantité d'eau qui tombe sur le sol est suffisante pour y apporter ces matières en assez forte proportion pour exercer sur la végétation un effet utile bien marqué. On se rend compte ainsi de l'amélioration que la jachère apporte à la terre. En mesurant et en analysant l'eau tombée pendant le deuxième semestre de l'année 1851 sur la plate-forme de l'Observatoire de Paris, M. Barral a constaté qu'une surface d'un hectare, à Paris, peut recevoir dans l'année, par le fait seul de la pluie, 132 kilogrammes de matières fertilisantes.

Ces quantités d'ailleurs sont extrêmement variables selon la position géographique des lieux, la direction des vents, l'abondance des pluies, etc.

Dissolutions sursaturées. — J'ai dit que nous sommes loin de connaître toutes les substances solides ou gazeuses qui se trouvent en très-petite quantité dans l'air. La découverte d'une réaction assez sensible pour reconnaître un corps en amène quelquefois sa constatation dans l'air. C'est ainsi que les nouveaux procédés de l'analyse spectrale permettent de constater la présence presque constante du sel marin dans l'air qui nous environne : c'est ainsi que les moyens très-délicats que nous avons pour déceler la présence de l'iode ont conduit à reconnaître ce corps dans l'eau pluviale et dans l'air. Les travaux tout récents dont les dissolutions sursaturées ont été l'objet permettent

également de rattacher cette question à celle de la découverte de quelques-uns des corps qui se rencontrent dans l'air.

Permettez-moi de vous exposer, de la façon la plus brève, en quoi consistent les curieux phénomènes que présentent les dissolutions sursaturées.

On sait que la plupart des sels solubles se dissolvent en plus grande quantité dans l'eau chaude que dans l'eau froide. Une dissolution saline faite à chaud et abandonnée à un refroidissement lent abandonne une partie du sel à l'état cristallisé.

En déterminant les rapports en poids entre le sel et l'eau qui existent dans la dissolution restée en contact avec les cristaux, dissolution qu'on appelle *saturée*, on trouve que ces rapports sont toujours les mêmes pour le même sel en dissolution saturée à la même température. Ces rapports peuvent être représentés par des tracés graphiques d'une construction très-simple. Ce sont *les courbes de solubilité* des sels.

Or il arrive quelquefois qu'un sel se soustrait à la règle commune. Le sel qui devait se précipiter par suite de l'abaissement de température de la dissolution reste dissous : la liqueur reste limpide : elle ne fournit pas de cristaux. On dit alors que la dissolution est *sursaturée*.

Le sulfate de soude (sel de Glauber) se prête mieux que tout autre sel à l'étude des conditions dans lesquelles la sursaturation existe ou cesse d'exister. Gay-Lussac, Davy, Schweigger, Lowel, Schroeder et, dans ces derniers temps, M. Gernez, ont fait connaître ces conditions.

Pour produire une dissolution sursaturée de sulfate de soude, il suffit de dissoudre à la température de l'ébullition 2 parties de ce sel dans 1 partie d'eau. Si la dissolution est abritée du contact de l'air, elle reste limpide quand elle est froide; *elle est sursaturée*. Dans une terrine ou dans un vase ouvert, elle laisse déposer environ la moitié du sel sous forme de cristaux.

On peut l'abriter du contact de l'air de diverses manières : en l'enfermant dans un matras de verre dont on chasse l'air par l'ébullition du liquide et qu'on ferme hermétiquement pendant cette ébullition au moyen du ramollissement et de la fusion du col étiré; en couvrant avec une petite capsule le vase contenant la dissolution sursaturée, ou simplement en versant à sa surface de l'huile ordinaire ou de l'essence de térébenthine. Lorsqu'on

vient à briser la pointe du matras à col effilé, ou bien lorsqu'on enlève la capsule de porcelaine qui recouvre le vase, ou bien encore quand on plonge un tube de verre dans le liquide recouvert d'huile, la cristallisation se produit instantanément, *presque toujours*, et la liqueur se transforme en une masse cristalline.

Les causes de ce phénomène ont beaucoup exercé la sagacité des chimistes : Gay-Lussac a montré que dans l'expérience des matras à col effilé la cristallisation est indépendante de la pression atmosphérique; Lowel ajouta aux faits précédemment connus cette observation curieuse que l'air qui a filtré au travers d'une couche épaisse de coton ne détermine pas, par son mouvement, la cristallisation, tandis que celle-ci est déterminée par le même air non filtré.

Dans un travail tout récent, M. Gernez a établi, par des expériences très-habilement faites, que la cristallisation d'une dissolution sursaturée est immédiatement déterminée par le contact d'un cristal de même nature que celle de la substance saline qui existe dans la dissolution. Il a vérifié ce fait sur une vingtaine de sels de nature diverse. Ainsi la cristallisation du sulfate de soude ne peut se produire que par l'intervention d'un cristal de sulfate de soude, si petite que soit sa dimension.

Or, comme la cristallisation du sulfate de soude se fait par le simple contact de l'air, M. Gernez a été conduit à admettre que cette substance se trouve disséminée dans l'air d'une façon normale; qu'elle est plus abondante, bien que toujours infiniment petite, dans les lieux habités qu'à la campagne, et qu'elle se trouve particulièrement accumulée dans les poussières de l'air. Il est probable aussi que les vents qui viennent de la mer ne sont pas sans influence sur la présence de ce sel dans l'air. Cette hypothèse admise, et elle s'appuie sur des expériences rigoureuses, il devient très-facile d'expliquer les diverses conditions qui déterminent la cristallisation des dissolutions sursaturées de sulfate de soude, conditions qui se rattachent, comme vous voyez, d'une façon bien inopinée à l'étude de l'air atmosphérique.

Si le temps me l'avait permis, j'aurais pu vous parler encore de quelques autres matières qui se rencontrent aussi dans l'air. Si petite d'ailleurs que soit la quantité de ces matières, elles méritent toute notre attention : car, en ce qui concerne ces phé-

nomènes naturels, dont nous sommes trop enclins à diminuer l'importance en raison même de notre impuissance à les approfondir, il n'existe pas de petits faits. Déjà depuis moins d'un siècle, depuis la découverte de la composition de l'air par Lavoisier, des travaux considérables ont été faits sur ce sujet : mais le champ d'exploration est immense, comme l'air lui-même. Aussi nous pouvons dire :

Mais ce champ ne se peut tellement moissonner
Que les derniers venus n'y trouvent à glaner.

Permettez-moi d'ajouter, en terminant, qu'assurément ceux qui y ramasseront les derniers épis ne sont pas encore de ce monde.

RAPPORT

SUR LES OBSERVATIONS OZONOMÉTRIQUES

faites dans la présidence de Bombay en 1863-64,

PAR LE DOCTEUR COOK [1].

Traduit par M. BRASSIER.

Chargé de réunir dans un rapport les observations ozonométriques faites dans divers hôpitaux civils et militaires de la présidence de Bombay et de Sind, je me propose de revoir et de coordonner brièvement ces notes, puis de faire ressortir les résultats les plus remarquables qu'elles offrent comme déductions.

Mon travail comprendra trois parties :

1° Observation annuelle de l'ozone dans chaque station ;

2° Relations qui peuvent exister entre l'ozone observé et les conditions météorologiques et géographiques ;

3° Influence de l'ozone sur les maladies, choléra, fièvres, dysenterie ;

Enfin revue des divers travaux entrepris sur l'ozone en Europe, dans le but de déterminer si les observations ozonométriques faites en Asie et en Europe sont comparables.

Les observations ozonométriques que j'ai recueillies viennent des localités suivantes :

1. Le travail du docteur Cook comprend trois parties : la première a été traduite presque littéralement ; la seconde, dans laquelle l'auteur résume ses observations et en tire les conclusions qu'elles comportent, renfermant beaucoup de vues que l'on retrouve dans la troisième, a seulement été résumée ; la troisième partie et la plus importante a été traduite *in extenso*. (*Note du traducteur.*)

1° Ahmedabad.
2° Ahmednuggur.
3° Belgaum.
4° Bombay.
5° Deesa.
6° Hydrabad, Sind.
7° Kolapore.
8° Kurrachee.
9° Mahabuleshwur.
10° Mhow.
11° Poona.
12° Rajcote.
13° Sattara.
14° Surat.
15° Tanna.

En outre, j'ai reçu des notes d'observations faites à diverses époques à Bhooj, à Mundlaisir et à Panchqmmy. Quelques-unes datent du mois de juin ; mais comme la plupart n'ont commencé qu'au mois d'août, j'ai négligé toutes celles qui précèdent cette date.

Pour éviter les répétitions, voici les signes que j'ai adoptés :

A Quantité moyenne d'ozone pendant le mois[1].
B Mois pendant lesquels l'ozone a dépassé la moyenne.
b Vents prédominants durant ces mois.
C Mois pendant lesquels l'ozone s'est montré à son minimum.
c Vents prédominants.
D Mois pendant lesquels ont régné le choléra, les fièvres, la dyssenterie.
E Mois pendant lesquels la quantité d'ozone diurne a dépassé celle de la nuit.
F Réciproquement la quantité d'ozone nocturne a dépassé celle du jour.
G Déductions à tirer des faits observés.

1re OBSERVATION.

AHMEDABAD. — *Prison hôpital. Distance de la mer,* 46 *milles. Position de l'hôpital au centre de la ville.*

A Jour, 1,5; nuit, 0,7.
B Mai, juin et juillet.
b Vents d'ouest et accidentellement vent d'est pendant le jour.
C Novembre, décembre, janvier, mars et avril.

1. L'échelle ozonométrique du docteur Cook portait 10 divisions, chacune des divisions était elle-même partagée en 10 subdivisions.

c Vents du nord-est.

D Choléra du 25 mars au 31 juillet dans la ville, du 18 juin au 31 juillet dans la prison; dyssenterie août-septembre; diarrhées pendant toute l'année; maxima : août, janvier, juillet.

Fièvres en octobre principalement.

E Pendant toute l'année.

G En août, septembre et octobre, on n'a point trouvé d'ozone dans l'air; ce qu'il faut sans doute attribuer à l'imperfection de l'ozonomètre.

Dans de meilleures conditions on a trouvé : ozone 1,0 et 2,0 de l'échelle. Par les temps froids, ozone constamment faible (0 à 2,0, rarement 3,0), souvent nul pendant la nuit. Les moyennes minima sont celles de décembre et mars (1,1 en 24 heures); en mars, ozone nul pendant la nuit.

A ce moment on signale l'apparition du choléra dans la ville.

AHMEDABAD. — *Hôpital du 20me régiment d'infanterie indigène. Observations commencées le 1er janvier.*

A Jour, 2,8; nuit, 2,6.

B Mai, juin et juillet.

b Sud et sud-ouest.

C Janvier et avril.

c Nord.

D Choléra fin de mars et commencement d'avril.

E Janvier, février, mars et avril.

F Juin et juillet.

G État sanitaire de l'année satisfaisant. Pendant quelques nuits de janvier, ozone nul. On observe 3 fois 10,0 en juillet et 1 fois 10,0 en août, et chaque fois il survient une pluie abondante.

2e OBSERVATION.

AHMEDNUGGUR. — *Hôpital civil. Distance de la mer, 162 milles. Hauteur au-dessus du niveau de la mer, 2,100 pieds. Situation au centre de la ville.*

A Jour, 1,2; nuit, 0,4.

B Août, septembre, octobre, novembre, décembre, juin et juillet.

b Sud-ouest (juillet, août, septembre); nord-ouest (octobre et juin); nord-est (le reste du temps).

C Janvier, février, mars, avril et mai.

c Nord-est; accidentellement nord-est le soir.

D Le choléra n'est pas épidémique dans cette localité. Quelques cas observés en février, mars et mai. — Dyssenterie: quelques cas (novembre, janvier, février et juillet. Diarrhée (août).

E Pendant toute l'année.

G En janvier et mars, ozone minimum (moyenne de 24 heures 0,6). A ce moment il était nul pendant la nuit. (Vents d'est régnant.)

On observa alors quelques cas de choléra. — Ozone maximum en novembre et décembre. (Au plus 2,0 par jour et 1,0 par nuit.) Subite augmentation vers le 5 mai à l'arrivée d'un vent d'ouest; l'ozone augmente sans cesse pendant les mois suivants. L'ozone pendant la nuit est très-variable et souvent nul. Au milieu de juin, apparition du choléra dans la prison, mais les cas sont peu nombreux.

Les nombres maxima de l'année furent : jour, 3,0 ; nuit, 2,0 = 5,0, en octobre, pendant une pluie et sous l'influence d'un vent sud-ouest.

3e OBSERVATION.

HÔPITAL BELGAUM *du 44e régiment. — Distance de la mer,* 56 *milles. Hauteur au-dessus de la mer,* 2,260 *pieds.*

A Jour, 2,0; nuit, 2,0.

B Décembre, janvier, février, mars, avril, mai, juin et juillet.

b Vents d'est en décembre, ouest et nord-ouest pendant les autres mois.

C Août, septembre, octobre et novembre.

c Vents d'ouest en août, septembre et octobre, variables en novembre.

D Choléra d'avril à juillet dans la ville et les environs; aucun cas dans le régiment. Peu de dyssenterie; quelques cas par mois, excepté en septembre, octobre et avril. Diarrhée: quelques cas en novembre, mai et juin. Fièvres assez fortes en juin et juillet.

F Pendant toute l'année.

G A peine observa-t-on une trace d'ozone pendant les trois premiers mois, ce qui peut avoir la même cause que plus haut. En novembre, ozone, le jour, 4,0; la nuit, 3,0, et souvent 6,0 en 24 heures; temps froid, rosée pendant la nuit. En décembre, l'ozone varie de 5,0 à 10,00 en 24 heures; il s'élève au maximum vers le milieu du mois, après quelques jours de tempête et de pluie accompagnée de tonnerre.

La moyenne décroît rapidement en janvier, février et mars, lorsque l'air devient très-sec. En mai, ozone 7,0 le jour; 8,0 la nuit = 15,0 avec orages et pluies. En juin et juillet, moyenne élevée.

4e OBSERVATION.

Asile des aliénés de Bombay. — *Distance de la mer*, 300 *yards. Hauteur au-dessus du niveau de la mer*, 30 *pieds.*

A Jour, 1.8; nuit, 1.3.

B Décembre, janvier, février, mars et juillet.

b Nord-est le jour; nord-ouest la nuit, pendant la saison froide; ouest en juillet.

C Août, septembre, avril, mai et juin.

c Nord-ouest.

D Choléra épidémique à Bombay pendant toute la durée des observations. Il s'accrut en janvier, février, avril, mai, juin et juillet. Maximum en mai. Dyssenterie en décembre; diarrhée en juillet; fièvres en janvier.

E Toute l'année, excepté en mai et juillet.

G Ozone très-faible à l'hôpital de la Marine (1.0 au plus et souvent nul).

En mai on nota deux fois 2.0; mais la moyenne fut : jour 0.7, nuit 0.6. Ce fut pendant ce mois que le choléra atteignit son maximum. En juillet la moyenne s'éleva à 5.0. Au reste toute l'année les variations de l'ozone furent peu considérables.

5e OBSERVATION.

Deesa. — *Hôpital du* 56e *régiment. Distance de la mer*, 240 *milles. Altitude*, 408 *pieds.*

A Jour, 1.8; nuit, 1.9.

B Août, septembre, octobre, novembre, mai, juin et juillet.

b Sud-ouest, août, mai, juin et juillet; nord et nord-ouest, octobre et novembre.

C Janvier, février, mars et avril.

D Choléra nul. Dyssenterie : septembre, octobre et novembre. Diarrhée : août, septembre et octobre. Fièvres : août et septembre.

E Août, septembre, mai, juin et juillet.

F Octobre, novembre, décembre, janvier, février et mars.

G En mars, ozone 0.7 le jour; la nuit, quelquefois nul.

Il s'éleva cependant une fois à 3.0 sous l'influence d'une trombe. Le mois fut excessivement sec. En mai, on observa deux fois 5.0 en 24 heures; par un vent violent chargé de poussière et un temps orageux, l'ozone s'éleva le 6, à 8.5 (en 24 heures), après une pluie d'orage. Le 16 à 6.5, à la suite d'une tempête accompagnée d'un orage. On observa quelquefois 5.0 et 7.0 par des vents forts et des trombes.

Le maximum observé fut : jour, 4.5; nuit 70; le 26 octobre pendant une violente tempête; le 4 janvier, pluie et vent impétueux, ozone le jour, 4.0; la nuit, 10.0. Ce fait se reproduisit d'autres fois dans les mêmes circonstances.

6e OBSERVATION.

HYDRABAD (Sind).— *Hôpital du 95e régiment. Distance de la mer,* 60 *milles. Altitude,* 48 *pieds. Situation au sud-est de la ville.*

A Jour, 1.1; nuit, 0.8.

B Septembre, avril, mai, juin et juillet.

b Ouest en avril et septembre; sud-ouest en mai, juin et juillet.

C Octobre, novembre, février, mars.

c Nord-ouest.

D Choléra nul.

E Pendant toute l'année, surtout en mai, juin et juillet.

G Ozone minimum en octobre et novembre.

En octobre, vers la fin, pluie de quatre jours sans influence sur l'ozone.

Dyssenterie dominante pendant ce mois. Fièvres pendant la seconde moitié d'octobre et en novembre.

Le 26 septembre, par un vent violent du sud-ouest chargé de poussière : ozone, le jour, 3.0; la nuit, 3.0. Le 28 septembre : ozone 4.0, le jour; 1.0 la nuit. Même observation en janvier vers les derniers jours du mois. Cette augmentation (de 1.0 à 4.0) coïncida avec la disparition des fièvres.

7e OBSERVATION.

KOLAPORE.— *Hôpital civil. Distance de la mer*, 60 *milles. Altitude*, 1797 *pieds. Situation en dehors de la ville.*

A Jour, 2.6; nuit, 2.0.
B Novembre, décembre, janvier, avril, mai, juin et juillet.
b Nord-est le jour; nord-ouest la nuit en novembre, décembre et janvier; sud-ouest et ouest en mai, juin et juillet.
C Août, septembre, octobre et mars.
c Nord-ouest et sud-ouest (août et septembre); nord-est (octobre et mars).
D Choléra en mai et juin. Ni fièvres, ni diarrhée, ni dyssenterie.
G Ozone minimum en automne 1863 (jour 1.0, nuit 0.5).

Augmentation le 26 octobre après une trombe et un orage. (3.0 le jour, 1.0 la nuit). En novembre au milieu et à la fin, après un changement de temps, ozone 4.0 le jour, 3.0 la nuit. Pendant les mois suivants, l'ozone se tient à une hauteur inusitée.

On observa jusqu'à 7.0, 8.0 et 9.0 en 24 heures. Les 3, 4, 6 et 7 janvier, les phénomènes météorologiques n'expliquent pas cette augmentation; il y eut cependant quelques éclairs le soir. Vers la fin d'avril, du 24 au 30, les nombres varièrent de 6.0 à 9.5 en 24 heures, après des ouragans précédés d'un changement de temps et d'un vent violent.

Une faible diminution eut lieu la semaine suivante, coïncida avec l'irruption du choléra dans la ville; mais cette diminution fut peu prononcée.

8e OBSERVATION.

CURRACHEE (Sind). — *Hôpital du 109e régiment. Distance de la mer*, 3 *milles. Altitude*, 40 *pieds.*

A Jour, 1,2; nuit, 1,3.
B Août, avril, mai, juin et juillet.

b Vents d'ouest.

C Octobre, novembre, décembre, janvier, février, mars.

c Vents du sud (octobre et mars), de l'est (novembre, décembre), du nord et de l'est (janvier et février).

D Choléra nul.

E Pendant toute l'année, à l'exception de

F Août, mai, juin et juillet.

G En février, ozone minimum (0,8 le jour et 0,2 la nuit).

En novembre, décembre, janvier, ozone très-faible (moyenne : 0,8 le jour, 0,4 la nuit).

Le 14 mars, après de forts vents d'ouest chargés de poussière, ozone 4,0 le jour et 1,5 la nuit. Le 21 janvier, pendant la nuit, après un vent de l'ouest et une forte rosée, ozone 1,5. Le 18 août, ozone 4,0 le jour et 6,0 la nuit, après quelques jours d'une température égale avec pluie et vent du sud-ouest; à ce moment quatre ondées se succédèrent, circonstance très-rare dans ces contrées. Le 23 août, ozone du jour, 3,2; de la nuit, 4,0 = 7,2 : en même temps, pluie et vent d'ouest. Le 7 avril, 6,0 le jour et 1,5 la nuit. Rien de remarquable. Le 23 avril, 6,5 le jour ; 5,5 la nuit, après une succession d'ouragans et des vents d'ouest. Nombreuses perturbations atmosphériques pendant ce mois, peu de cas de fièvres.

9e OBSERVATION.

MAHABULESHWUR. — *Distance de la mer, 40 milles. Altitude, 4,700 pieds. Situation au centre de la ville.*

A Jour, 3,2 ; nuit, 3,7.

B Octobre, novembre, février, mai et juin.

b Sud-est et est, en octobre et novembre. Est le jour et ouest la nuit en février; ouest en mai-juin.

C Décembre, janvier, mars, avril, juillet, août, septembre.

c Est en décembre et janvier. Est le matin, ouest le soir en mars et avril ; sud-ouest de juillet à septembre.

D Pas de cas de choléra sur les lieux élevés. Fièvres en avril et mai.

E Égalité entre l'ozone du jour et celui de la nuit (juillet, décembre, mai, juin).

F Le reste de l'année.

G Janvier froid et sec ; ozone minimum (2,3 le jour, 2,7 la nuit, quelquefois 1,0). Le 27 octobre (pluie et vents d'ouest très-violents), l'ozone s'élève à 8,0 le jour et 9,0 la nuit = 17,0 ; le jour suivant, 18,0.

En février, du 17 au 22 inclusivement, ozone constamment élevé, vents d'ouest.

En mai, par des vents nord-ouest et ouest et pluies abondantes, il y eut un minimum remarquable.

10e OBSERVATION.

MHOW. — *Hôpital du régiment artillerie royale. Distance de la côte,* 203 *milles. Altitude,* 1,883 *pieds.*

A Jour, 1,3 ; nuit, 1,8.

B De août à novembre, juin.

b Sud-ouest, en août et septembre ; ouest, novembre et juin.

C De décembre à mai.

c Sud-est, décembre ; est, janvier. Est le jour, ouest la nuit en février et mars ; sud-ouest le jour, nord-ouest la nuit en avril et mai.

D Choléra en avril, mai et une moitié de juin. Le maximum des cas fut observé en mai au bazar, et le minimum au régiment.

F Pendant toute l'année.

G En février, l'ozone manqua souvent ; il fut minimum en mars et toujours nul le jour (nuit, 0,7). On observa une fois 2,0 la nuit.

Avril et mai semblables au précédent (0,3 le jour, 1,3 la nuit).

Le choléra apparut en avril à la ville, il fut au maximum dans la première semaine de mai. Pendant ce mois, il atteignit le régiment et fut très-violent du 24 au 31, la quantité d'ozone étant très-faible, nulle le jour et quelquefois la nuit. (Moyenne du jour, 0 ; de la nuit, 0,9.)

Ozone maximum en septembre (3,5 le jour et 4,0 la nuit), pluie et vents du sud-ouest.

Le 24 septembre, ozone à son maximum mensuel (6,0 le jour et 8,0 la nuit). En août, on observa 11,0 pendant la moitié du mois, avec des vents du sud-ouest. En octobre, 10,0 après un orage.

La plus forte variation eut lieu les 4 et 5 janvier (de 5,0 à 10,0 et 12,0); orages très-violents. On n'observa pas en juin et juillet par suite du manque de papiers ozonométriques.

11e OBSERVATION.

POONA. — *Hôpital du* 33e *régiment. Distance de la mer*, 62 *milles. Altitude*, 1,850 *pieds.*

A Jour, 2,6; nuit, 2,5.
B De août à octobre; de mai à juillet. Vents d'ouest.
C De novembre à mars. Vent d'est.
D Choléra : décembre, 855 cas en ville; en juin et juillet, quelques cas au régiment.
G Ozone minimum en novembre et mars (1,0 le jour, 1,0 la nuit).

En novembre, quantités d'ozone très-irrégulières (de 0 à 6,0).

Pendant la seconde moitié de novembre et les dix premiers jours de décembre ozone nul; le choléra apparaît en ville. Pendant les dix jours suivants, il y eut 140 cas par jour en moyenne. L'ozone reparut ensuite; le choléra disparut à la fin du mois. (Ozone : jour, 2,6; nuit, 2,9.)

Dans le mois de mars, l'ozone manqua souvent, et les nombres furent toujours faibles. On observa quelques cas de choléra au régiment, mais non épidémiques. Quelques cas de choléra sporadique survinrent aussi en juillet, l'ozone ne manquant pas.

En août, par de forts vents sud-ouest et chargés de pluie, on observa :

Ozone de 15,0 à 17,0 en 24 heures.

En septembre, novembre, élevés : le 5, 16,0, après une pluie; le 26, 14,0, après une pluie abondante. En octobre, les 6 et 14, on obtint 12,0, après un orage. Le 21 et le 23, on eut 14,0, après une tempête et un orage. Les 25 et 27 on obtint 16,0 et 18,0, après une pluie. En juillet, 9,0 et 16,0 dans les mêmes circonstances. Pendant ce mois, et malgré la forte proportion d'ozone, l'état sanitaire ne fut pas trop satisfaisant. Il y eut quelques cas de choléra et de dyssenterie à l'hôpital.

12e OBSERVATION.

RAJCOTE. — *Hôpital civil. Distance de la côte*, 41 *milles. Altitude*, 500 *pieds. Observations commencées en octobre.*

Moyenne annuelle : jour, 0,5 ; nuit, 0,6.

Les quantités de l'ozone observé dans cette localité furent toujours très-faibles. On peut attribuer ce fait à la position de l'hôpital entouré de hautes constructions ; de plus, comme on a pu s'en convaincre, les papiers n'avaient pas été exposés à un libre courant d'air.

Il n'y eut pas de cas de choléra. On constata de la dyssenterie en octobre, novembre, mars et avril ; de la diarrhée en avril-mai ; des fièvres en octobre.

13e OBSERVATION.

SAHARA. — *Hôpital civil. Distance de la côte*, 56 *milles. Altitude*, 2,320 *pieds. Situation au-dessous de la ville.*

A Jour, 2,5; nuit, 2,4.
B De août à novembre, juin-juillet.
b Sud-ouest.
C De décembre à mai.
c Vents d'est.
D Choléra, 5 avril 1864-29 juillet, en ville et aux environs.
Dyssenterie, surtout en mai-juin. Diarrhée nulle.
Fièvres en février, avril et juillet.
E D'octobre à avril.
F Août, juin, juillet.
G Ozone minimum en mars (1,6 le jour, 1,4 la nuit).

[1] Mai et juin (1,7 le jour, 1,7 la nuit). On observa souvent 1,0, et le maximum ne dépassa qu'une fois 2,5. Pendant ces mois, le choléra fut épidémique. L'ozone augmenta en juin, le choléra disparut à la fin du mois (maximum, 8,0 en 24 heures).

La moyenne du mois de juillet fut 6,6 par jour. En août, on observa : ozone, 7,5 (moyenne en 24 heures).

Du 1er au 23 août, période élevée (8,6) avec un fort vent sud, sud-ouest et pluie. Le vent tourna ensuite au nord, et l'ozone tomba à 4,5 pendant le reste du mois. En septembre, on obtint

quelquefois 9,0 et 12,0 par des vents de sud-ouest accompagnés de pluie. Il en fut de même en octobre, en juin et en juillet.

14e OBSERVATION.

SURAT. — *Hôpital civil. Distance de la côte*, 10 *milles. Altitude*, 30 *pieds.*

A Jour, 1,3; nuit, 1,2.
B De août à septembre, avec vents du sud-ouest.
C Les autres mois, avec vents d'est et de nord-est.
D Choléra en mars, avril et mai (1,300 cas). L'ozone n'a pas semblé influencer sa marche.

15e OBSERVATION.

TANNA. — *Hôpital-prison. Distance de la côte*, 13 *milles. Altitude*, 6 *pieds.*

A Jour, 4,0; nuit, 3,5.
B Octobre, janvier, de mars à juillet.
b En juin et juillet, vents sud-ouest; nord-ouest le reste du temps.
C Août, septembre, novembre, décembre et février.
c Sud-ouest pendant les deux premiers mois; nord le reste du temps.
D Choléra : à l'hôpital en septembre et avril (26 cas) ; à la ville et dans les environs, en septembre, décembre, mars, avril et mai.

Dyssenterie, diarrhée, fièvres.

Les observations de l'ozone pendant les différents mois ont montré que le choléra apparaissait avec une diminution de l'ozone dans la localité et disparaissait avec une élévation notable de la quantité de ce principe; il en a été de même pour les cas de dyssenterie.

En juin, avec 8,9 d'ozone par 24 heures, le choléra a disparu.

En juillet, on observa en moyenne 6,7 ozone du jour, 5,9 de la nuit.

DEUXIÈME PARTIE.

RÉSUMÉ DES OBSERVATIONS QUI PRÉCÈDENT ET DÉDUCTIONS QU'ON PEUT EN TIRER.

Par jour, la quantité moyenne d'ozone s'est élevée pour toute la présidence à 4.0 (24 heures).

Cette proportion a varié extrêmement d'une station à l'autre, elle a été de 1.1 à Rajcote et de 7.5 à Tanna, comme le montre le tableau suivant :

N° 1.

	Ozone en 24 heures. Moyenne annuelle.
Tanna	7.5
Mahabuleshwur	6.9
Poona	5.5
Ahmedabab n° 1	5.4
Sattara	4.9
Belgaum	4.8
Kolapore	4.6
Deesa	3.5
Mhow	3.1
Bombay	3.1
Kurrachee	2.5
Surat	2.5
Ahmedabad	2.2
Hydrabad	1.9
Ahmednuggur	1.6
Rajcote	1.1

Toutes ces localités peuvent se partager en 6 divisions d'après leurs positions géographiques, et donnent alors les moyennes suivantes :

	Ozone en 24 heures.
Sind division	2.1
Northern division	3.0
Deccan division	4.0
Coass division	4.3
Southern Maratha Country	4.5
Hills (Mahabuleshwurr)	6.0

Ces nombres ne s'appliquent qu'à une année d'observations; les places occupées dans cette liste par les divers pays n'ont donc rien d'absolu, et peuvent varier dans un autre rapport.

Diverses causes exercent une grande influence sur la quantité d'ozone que l'air contient. D'abord et surtout la position qu'occupe l'observatoire du lieu : s'il est, comme ceux d'Ahmedabad et d'Ahmednuggur, placé au centre de cités populeuses s'opposant au libre accès de l'air, la diminution de l'ozone est évidente, l'air étant d'ailleurs souillé des produits émanant des lieux habités. La seconde observation concernant Ahmedabad montre très-bien ce fait. L'hôpital militaire est situé hors de la ville et a donné comme moyenne journalière 5.4, tandis que la prison située au centre de la ville avait une moyenne de 2,2. Dans des circonstances analogues, Ahmednuggur, en 1861 et 1862, me donna une moyenne de 3.0, au lieu de 1.6 observé à l'hôpital civil situé au centre de la ville.

L'influence du choléra est aussi très-grande sur la quantité d'ozone; de même la présence ou l'absence de certains vents et leur direction, la pluie, la grêle, les orages, etc.

INFLUENCE DES VENTS.

Région du Sind (Kurrachee, Hydrabad).

	Ozone (moyenne de 24 heures).	Vents.
Août	2.8	Ouest et sud-ouest.
Septembre	2.4	
Octobre	1.4	Nord et est.
Novembre	0.8	
Décembre	1.5	
Janvier	1.5	
Février	1.1	
Mars	1.8	
Avril	3.5	Ouest et sud-ouest.
Mai	2.9	
Juin	3.7	
Juillet	3.0	

Région de Northern (Ahmedabad, Deesa, Mhow).

Août	3.3	Ouest.
Septembre	3.8	
Octobre	3.4	

Novembre	3.2	Nord et est.
Décembre	2.3	
Janvier	2.6	
Février	2.1	
Mars	1.1	
Avril	2.0	
Mai	3.7	Ouest et sud-ouest.
Juin	4.6	
Juillet	5.5	

Les mêmes observations s'appliquent aux autres régions. En résumé, sous l'influence des vents d'ouest et de sud-ouest, l'ozone augmente; il est minimum quand les vents soufflent du nord et de l'est, ou de nord-est, nord-ouest. Les vents d'ouest sont prédominants en août, septembre, octobre, mai, juin et juillet, et dans ces mois l'ozone est toujours en forte proportion.

Ces résultats peuvent être ainsi présentés :

MOIS RICHES EN OZONE.

Sind (Kurrachee, Hydrabad),	Juillet	juin		septembre	août.
Northern (Ahmedabad, Deesa, Mhow),	Juillet	juin	octobre	septembre	août.
Deccan (Ahmednuggur, Poona, Sattava),	Juillet	juin	octobre	septembre	août.
Southern Maratha (Belgaum, Kolapore),	Juillet	juin.			
Coast (Bombay, Tanna, Surat),	Juillet		octobre.		

MOIS PAUVRES EN OZONE.

Sind,	Octobre	novembre	décembre	janvier	février	mars	
Northern,		Novembre	décembre	janvier	février	mars	avril.
Deccan,		Novembre	décembre	janvier	février	mars	avril.
Southern,		Variable d'août à avril.					
Coast,		Variable.					

A Bombay, les mois de mai, de juin et de juillet sont les plus riches en ozone; juillet est celui qui en contient le plus.

D'une manière générale, la quantité moyenne d'ozone diurne est supérieure à celle de la nuit. Pour les stations observées, le fait n'offre que deux exceptions : à Belgaum et à Mahabuleshwur. Pour la première de ces localités, l'ozone de la nuit l'emporte toute l'année sur l'ozone diurne; pour la seconde,

l'ozone est en excès, la nuit pendant 8 mois. A Ahmednuggur et à Ahmedabad, l'ozone du jour est toute l'année en excès sur celui de la nuit; à Bombay pendant 11 mois, à Kolapore pendant 9 mois, à Kurrachee pendant 8 mois, à Sattava pendant 7 mois. Au reste, en prenant les moyennes des mois pour toutes les stations réunies, le fait devient général et l'ozone se montre constamment en excès pendant le jour. Cela est surtout marqué pour les mois d'août, septembre, octobre, novembre et décembre.

Nous avons déjà montré que sous l'influence des vents d'ouest et de sud-ouest l'ozone est à son maximum; ce résultat paraît très-net dans les observations que j'ai recueillies, et c'est une très-rare exception de voir une quantité un peu considérable d'ozone coïncider avec des vents d'est ou du nord.

La moyenne quotidienne de l'ozone pendant les vents d'est était 2,1, de 4,0 par des vents d'ouest et 5,0 par des vents sud-ouest.

Une augmentation d'ozone coïncide aussi, nous l'avons vu, avec les pluies qui rendent à l'air une quantité suffisante d'humidité, et une diminution d'ozone (toutes choses égales d'ailleurs) se fait toujours remarquer dans les mois de sécheresse.

Au reste, un excès d'humidité est aussi un obstacle à la présence de l'ozone dans l'air,

La rosée, les orages, les tempêtes, les trombes ont une influence remarquable sur la quantité d'ozone atmosphérique; nous avons signalé bien souvent ce fait dans la première partie de ce mémoire.

La violence du vent augmente aussi la proportion d'ozone, ce qui s'explique par le plus grand renouvellement de l'air autour des papiers ozonométriques.

L'ozone est dans une proportion relativement élevée, dans les localités voisines de la mer. L'air de la mer est un véritable réservoir d'ozone, et de plus il est privé de matières organiques oxydables, dont la présence est incompatible avec celle de ce principe. C'est pour la même raison que la quantité d'ozone atmosphérique est plus grande sur les lieux élevés et bien aérés que dans les localités basses et abritées du vent. Quant à l'influence de l'ozone sur le développement ou l'absence du cho-

léra, on a pu voir que cette maladie apparaît ordinairement lorsque l'ozone est à son minimum, et qu'elle diminue d'intensité puis disparaît avec une augmentation notable de la proportion de ce principe dans l'air.

Pour ce qui regarde les fièvres, les diarrhées, la dyssenterie, la relation qui existe entre leur exaltation et la présence ou l'absence de l'ozone n'est pas aussi caractérisée. On peut dire cependant que les fièvres intermittentes coïncident ordinairement avec une plus forte proportion d'ozone atmosphérique.

TROISIÈME PARTIE.

Le docteur Prout, dans un traité sur les ponts et les eaux publié en 1834, fait remarquer que « les meilleures analyses indiquent presque invariablement un excès notable d'oxygène sur la quantité de 20 p. 100 qui paraît entrer dans l'atmosphère. » Il considère cet excès d'oxygène comme associé à de la vapeur d'eau et formant un composé chimique, puis il ajoute : « A cet état, l'oxygène semble particulièrement propre, sinon indispensable, à la vie animale. L'air qui en contient est sec et actif. » Il dit encore que l'on peut attribuer à ce composé les propriétés décolorantes de l'air et de la rosée. Le corps dont il parle est certainement celui que nous connaissons maintenant sous le nom d'ozone.

En 1839, M. Schoenbein, qui se livrait à des expériences sur la décomposition de l'eau par l'électricité, fut frappé de l'odeur particulière produite par le dégagement des gaz. Il entreprit alors une série d'expériences pour découvrir la cause du phénomène, et en 1840 il l'attribuait à la présence d'un nouveau principe élémentaire analogue au chlore ou au brôme, principe auquel il donnait le nom d'ozone. Il continua ensuite ses recherches, et contribua à attirer sur ce sujet, par de nombreux travaux, l'attention d'un grand nombre de savants qui ont écrit depuis sur cette matière. Le meilleur traité que nous possédions est peut-être celui que M. Scoutetten, professeur à l'hôpital militaire de Metz, a publié en 1856.

Le docteur Moffat est le premier qui ait travaillé la question en Angleterre. Depuis, lui et d'autres savants ont jeté beaucoup d'intérêt sur ce sujet.

La vraie nature de l'ozone n'est pas encore définitivement établie. Quelques-uns l'ont considéré comme un tritoxyde d'hydrogène. De la Rive et Berzélius en font un oxygène allotropique. Le docteur Scoutetten admet que l'ozone est de l'oxygène électrisé positivement. Schoenbein pense que l'ozone est de l'oxygène polarisé existant sous deux formes : l'oxygène positif actif et l'oxygène négatif actif. L'oxygène pourrait se combiner aux corps sous trois formes différentes, et selon que les corps sont formés d'oxygène positif ou d'oxygène négatif, il les divise en ozonides et en antozonides. Clausius considère la molécule d'oxygène ordinaire comme biatomique, c'est-à-dire contenant un atome électro-positif et un atome électro-négatif. L'oxygène actif serait un atome unique libre ou faiblement uni, et par conséquent les atomes qui forment l'antozone et l'ozone seraient électro-positifs ou électro-négatifs. Quelle que soit la nature chimique de l'ozone, ses propriétés sont actuellement connues et bien décrites.

Considéré au point de vue physiologique, l'ozone concentré (de même que plusieurs agents énergiques) est un poison actif et rapide, donnant la mort par l'intensité de son action. Un animal de petite taille introduit dans un vase qui en contient meurt immédiatement.

Lorsqu'on respire dans une atmosphère accidentellement chargée d'ozone, on éprouve un fort malaise et une vive irritation dans les voies respiratoires. L'ozone active singulièrement la respiration ; il produit un sentiment pénible de suffocation et de constriction, il enflamme les poumons par une inhalation prolongée.

Au point de vue chimique, l'ozone est le plus puissant des agents d'oxydation. Il oxyde à froid l'argent métallique, transforme l'iode en acide iodique, l'azote en acide nitrique et les acides en *eux* en acides en *ique*.

Il détruit instantanément les hydrogènes sulfuré, sélénié, phosphoré. Il est remarquable par ses propriétés décolorantes. C'est à lui qu'on peut attribuer le blanchiment du coton et autres produits par l'exposition à l'air.

L'ozone est un gaz doué d'une odeur particulière et dont la pesanteur spécifique est quatre fois celle de l'oxygène. Beaucoup de substances l'absorbent rapidement et peuvent en prendre de grandes quantités. Ces corps, qu'on pourrait appeler *réservoirs d'ozone*, sont principalement les huiles essentielles distillées, entre autres l'essence de térébenthine.

Au point de vue de la météorologie, l'ozone, d'après Schoenbein, est incompatible avec les miasmes oxydables et les gaz méphitiques qui se dégagent des substances végétales et animales en décomposition. Il détruit ces substances ou les transforme en matière d'une innocuité complète; il purifie l'atmosphère et entretient sa salubrité.

Schroeder assure que la putréfaction ne commence pas dans une atmosphère ozonisée. Un blanc d'œuf introduit dans ce gaz s'y est conservé 28 jours sans trace d'altération. Le même savant a prouvé que de l'air contenant $\frac{1}{6000}$ d'ozone peut désinfecter 540 fois son volume d'air rendu fétide par la présence d'une certaine quantité de viande pourrie; de sorte qu'on peut dire qu'une atmosphère putride est complétement assainie par une quantité d'ozone égale à $\frac{1}{324000}$ de son volume.

Suivant Zenger, l'ozone existe normalement dans l'air pour une quantité très-minime variant entre 0,01 et 0,002 de milligramme par 100 litres.

Scoutetten évalue la proportion de l'ozone atmosphérique à $\frac{1}{10000}$. Je pense que diverses circonstances pouvant le concentrer accidentellement dans l'air, il constituerait peut-être alors l'agent actif et terrible du simoun des déserts de Cutchée, d'Arabie, de Mésopotamie et d'Afrique.

Par la puissance d'affinité, l'ozone peut décomposer diverses substances. Il précipite du peroxyde de plomb d'une solution alcaline de litharge ou de l'acétate de plomb. Il transforme rapidement tous les sels de protoxyde de manganèse en sels de peroxyde. Il décompose enfin, avec une grande facilité, l'iodure de potassium, et met l'iode en liberté. On utilise cette propriété pour la préparation d'un papier-témoin qui décèle la présence de l'ozone. On dissout l'iodure de potassium dans une solution d'amidon, et on étend le mélange sur du papier à filtre. L'iode mis en liberté par l'ozone se combine à l'amidon, et le papier prend une teinte brune, s'il est sec, ou une teinte bleue, si on le

mouille. Pour obtenir des observations exactes, il est nécessaire d'employer des matières absolument pures; sans cela, les résultats pourraient être incertains, par suite d'une décomposition spontanée de l'iodure de potassium. Je puis, du reste, assurer par expérience qu'il n'est pas difficile d'obtenir des produits suffisamment purs.

MM. Roger et C[e], de Bombay, suivent, dans la préparation de leur papier ozonométrique, un procédé recommandable au point de vue de l'exactitude et de la sensibilité. Voici leur formule : iodure de potassium, 30 grains; amidon, 120; eau distillée, 6 onces. On fait bouillir l'amidon pendant trois minutes, et l'on dissout l'iodure dans la solution refroidie. On trempe alors dans la liqueur du papier à filtre purifié. On fait égoutter, et l'on dessèche le papier dans l'obscurité. On doit employer pour cette préparation le meilleur amidon de froment, bien lavé à l'eau distillée, et desséché avec soin. Le papier à filtre est traité par l'acide chlorhydrique dilué qui dissout les sels (particulièrement les carbonates) qu'il contient ordinairement; on le lave ensuite plusieurs fois à l'eau pure et on le dessèche dans une étuve.

Le papier est ensuite découpé en bandes de grandeur convenable, puis on place une de ces bandes sous une cage circulaire en gaze, dans un lieu où l'air circule librement, mais protégé contre les rayons du soleil et la pluie. On change soir et matin les bandes de papier, et l'on compare la teinte qu'elles ont prise, sous l'influence de l'ozone, avec celle d'une échelle colorée de teintes graduées, depuis la plus claire jusqu'à la plus foncée. Cette échelle comprend dix teintes numérotées.

M. Lowe, qui a fait récemment une série d'expériences sur la préparation du papier ozonométrique, a trouvé qu'on obtient des résultats plus rapides et une plus grande sensibilité, en remplaçant les bandes de papier par une poudre. Il recherche en ce moment à quelle variété d'amidon il convient de donner la préférence, et quelles sont les meilleures proportions à employer. Du reste, aussi longtemps qu'on emploiera un papier uniforme, le but principal sera atteint, à savoir : la détermination comparative de l'absence ou de la présence de l'ozone.

Toute action chimique appréciable est accompagnée d'une production d'ozone, l'oxygène de l'air se transformant en cet

élément. Si dans un flacon de verre on introduit une petite quantité de potasse caustique, et qu'on ajoute de l'acide sulfurique, l'action chimique commence, et l'oxygène de l'air contenu dans le vase acquiert les propriétés de l'ozone.

Toute autre action chimique donne le même résultat. L'électricité atmosphérique transforme l'oxygène en ozone. Frémy a produit de l'ozone en faisant passer l'étincelle électrique à l'entrée d'un tube contenant de l'oxygène sec. Il se produit aussi une quantité considérable de ce corps près d'une machine électrique en activité; et si celle-ci est assez puissante, il en résulte quelquefois des symptômes fâcheux pour l'opérateur. Le courant galvanique produit les mêmes effets. L'oxygène qui se dégage de l'eau, sous l'influence de la pile, est ozonisé. La végétation produit aussi de l'ozone. Les arbres et les plantes couverts de feuilles donnent de l'ozone sous l'influence du soleil. Scoutetten conclut d'une longue série d'expériences que la production de ce corps est due à l'évaporation. Ce phénomène n'a lieu que lorsque les plantes sont en pleine végétation.

L'ozone se forme aussi par l'évaporation de l'eau des fleuves et des mers. Les couches d'air voisines de l'Océan en sont chargées; mais il est probable que la principale source de l'ozone atmosphérique se trouve dans les phénomènes électriques de l'atmosphère.

On peut obtenir l'ozone artificiellement par divers procédés. La méthode ordinaire consiste à mettre un bâton de phosphore dans un vase contenant une certaine quantité d'eau. L'ouverture du vase est incomplétement close; on laisse le tout en contact pendant un temps assez court, au bout duquel l'air, renfermé dans l'appareil, est chargé d'ozone. On obtient encore facilement de l'ozone par la décomposition de l'eau par la pile. Mais le procédé le meilleur est celui qu'a proposé M. Bottger. Il fait, à l'aide d'une baguette de verre et dans une capsule de porcelaine, un mélange de 2 parties de permanganate de potasse parfaitement sec et de 3 parties d'acide sulfurique monohydraté. Il introduit ensuite ce mélange dans une éprouvette fermée à l'aide d'un obturateur en verre. Le permanganate en se décomposant donne un dégagement continu d'ozone.

Lorsque l'atmosphère est tout à fait exempte de matières organiques oxydables, l'ozone y abonde. Comme il est détruit dans

l'acte de décomposition des émanations méphitiques, sa présence est une preuve certaine de la pureté de l'air. L'ozone existe en abondance sur la mer, ou à de grandes hauteurs, lorsque l'influence des matières putrides du sol cesse de se faire sentir, avec les vents soufflants de la mer, avec les vents ayant pour origine les courants équatoriaux, et par conséquent soufflant du sud-est et du sud-ouest, avec les vents violents, chargés de pluie et de grêle; lorsque le baromètre est bas, probablement parce que, dans ces circonstances, l'air est plus humide et les vents plus violents. Il abonde pendant les orages, les halos, les aurores boréales et l'apparition de la lumière zodiacale, lorsque l'air est électrisé négativement; pendant les mois du printemps et de l'hiver, en Angleterre, selon le docteur Moffat, et pendant l'été sur le continent, d'après le docteur Scoutetten. Il est plus abondant pendant la nuit que pendant le jour.

Que si les conditions sont opposées, l'ozone manque. C'est ce qui arrive dans les lieux très-peuplés, surtout dans les rues étroites et encaissées; près des étangs et des marais, dans les localités basses et éloignées des côtes de la mer, avec les vents de terre ou ceux qui soufflent du nord et du nord-est, pendant les calmes; lorsque l'air est sec et âpre et le baromètre élevé, l'atmosphère chargée d'électricité positive ou peu électrisée, enfin durant l'automne.

On a affirmé qu'il n'y a pas d'ozone dans les lieux habités; mais la non-constatation de l'ozone dans ces circonstances était due au peu de sensibilité des papiers. M. Lowe a parfaitement constaté qu'il en est autrement, et cela à l'aide de sa poudre-témoin si sensible.

En Angleterre, les portes et les fenêtres restent le plus souvent closes, et la ventilation ne se fait que par de longs corridors et des passages intérieurs; dans ces conditions, la quantité d'ozone est nécessairement très-faible. Mais dans l'Inde, où de toute nécessité l'air pénètre librement dans les appartements, on n'éprouve aucune difficulté à constater l'ozone.

C'est ce que j'annonçais, comme il suit, en publiant en 1861, dans mon rapport annuel, le résultat de mes propres observations.

« Dans une vaste prison militaire, bien ventilée et bien située, dans laquelle chaque occupant avait 5,000 pieds cubes d'air à

dépenser, on ne pouvait que difficilement constater une légère diminution d'ozone. Dans une prison occupée seulement pendant la nuit et bien ventilée pendant le jour, avec une allocation de 1800 pieds cubes par chaque individu, la perte d'ozone était de 25 p. 100. Enfin, dans une prison placée dans les mêmes conditions, la quantité d'air attribuée à chaque occupant étant seulement de 500 pieds cubes, la diminution de l'ozone fut de 50 p. 100. »

Le docteur Tripe, officier de santé à Hachney, annonça en 1858 que l'air est dépouillé d'ozone dans son passage à travers les villes.

Le docteur Moffat a constaté que l'air se dépouille d'ozone lorsqu'il se mélange aux produits de la combustion. Ces faits montrent qu'il serait fort désirable qu'on établît les camps loin des villes et des bazars, et qu'on nous délivrât des fourneaux et des tours qui environnent plusieurs de nos cantonnements militaires, et servent à brûler les matières fécales.

Le résultat le plus intéressant et le plus pratique que l'on puisse tirer de ces observations, est certainement la relation qui existe entre le développement ou l'arrêt des maladies et l'absence ou la présence de l'ozone dans l'air.

Schoenbein et quelques autres, considérant les effets irritants dus à l'ozone préparé artificiellement, pensent que la présence d'un excès de ce principe dans l'atmosphère causerait des fièvres et des affections catharrales.

MM. Schifferdieker, Bockel et d'autres nient au contraire cette relation.

Les professeurs de médecine de Bâle rapportent qu'en 1847 ils ont observé une relation très-marquée entre l'exaltation des maladies des organes respiratoires et le développement anormal de l'ozone dans l'air.

Le docteur Moffat disait à l'Association Britannique : « Au point de vue médical et météorologique, je n'établis pas que l'ozone ne puisse produire aucune maladie; mais je n'hésite pas à affirmer que ce corps prévient toute maladie épidémique en détruisant la cause. »

M. Norris affirme que l'harmattan d'Afrique (analogue au simoun de l'Asie) rétablit la santé des fiévreux, arrête les progrès des épidémies et la contagion de la petite vérole.

M. Hinjeston donne comme certain que « quand l'air est peu ou point électrisé (et dans ce cas l'ozone manque) les maladies d'un mauvais caractère dominent et la mortalité augmente. »

Le docteur Moffat, après de nombreuses observations, arrive à cette conclusion que le maximum d'ozone dans l'atmosphère correspond à un maximum de maladie et un minimum d'ozone à un maximum de mortalité; mais dans le premier cas les maladies sont sporadiques et peuvent avoir pour origine des changements de température, tandis que dans le second elles sont épidémiques.

Le professeur Hunt s'étonne de voir qu'avec un état atmosphérique faiblement électrique et par conséquent ozonisé insuffisamment, le choléra apparaisse, tandis que la présence d'un excès d'ozone dans l'air annonce la fin du fléau.

L'observation du registre général prouve que, pendant les deux grandes invasions du choléra, on vit l'influence épidémique se faire sentir dans la métropole avec des conséquences variant selon les lieux justement en raison inverse de leur élévation et à l'exclusion de toute autre influence générale.

Lorsqu'on considère que la quantité d'ozone augmente à mesure qu'on s'élève, la diminution de l'influence cholérique avec la hauteur des lieux peut, ce me semble, être attribuée sûrement à l'ozone atmosphérique.

Mahabuleshwur, station d'une hauteur considérable, m'a paru rester complétement à l'abri de l'épidémie. Il en a été de même pour d'autres lieux élevés, du moins autant que j'ai pu en juger.

Le docteur Moffat a encore établi que, par rapport à l'élévation des localités, la mortalité maximum et l'ozone minimum coïncident avec les couches basses de l'air, pour une quantité de malades ordinaires, tandis que la mortalité minimum et l'ozone maximum coïncident avec une certaine hauteur du sol.

La Société de médecine de Kœnigsberg, en 1852, chargea une commission de rechercher s'il y a un rapport constant entre l'ozone atmosphérique et l'état sanitaire d'un pays; la commission fit des observations du 1er juin 1852 au 31 mai 1853, mais elle ne sut pas trouver de relation.

Le docteur Parkes, dans une note, page 433 de son traité d'hygiène pratique, s'appuyant sur l'autorité de Schultze, Voltotine, Wethe et Lamont, affirme qu'il n'y a aucune relation

entre la présence ou l'absence de l'ozone dans l'air et la marche du choléra.

M. Bockel a fait une série d'expériences durant l'épidémie cholérique de Strasbourg, en 1854 et 1855, et arrive à cette conclusion qu'il y a un étroit rapport entre la présence ou l'absence de l'ozone et le développement de l'épidémie. On avait vu l'ozone disparaître en même temps qu'apparaissait le fléau et reparaître lorsque le choléra touchait à sa fin.

M. Simonin observa le fait de la diminution de l'ozone lors de l'irruption du choléra à Nancy en 1854. (La coïncidence ne fut pas aussi marquée l'année suivante.) Des observations semblables ont été faites par d'autres savants; citons entre autres M. Wolf, directeur de l'observatoire de Berne, M. Robert de Neudorf, M. Courau, etc.

En Angleterre le nombre des observateurs a été assez grand, mais les observations ont eu surtout pour objet de déterminer la nature et les propriétés de l'ozone et sa connexion avec les phénomènes météorologiques. Cependant le docteur Moffat d'Hawarden a consacré plusieurs années à l'observation de l'ozone considéré dans ses rapports avec la maladie. Ses recherches ont été si complètes et ses déductions si logiques, que je me crois permis de donner un extrait de son travail publié dans les neuvième et dixième rapports de la Société météorologique.

« Les deux principaux courants de l'air dans ces latitudes ont leurs caractères particuliers, de même que le calme. Le courant du nord est celui de la mortalité; le courant du sud celui des maladies sporadiques, et le calme est une condition d'épidémies. Des observateurs accidentels ont vu que pendant l'épidémie cholérique règne un calme invariable, et qu'à ce moment les maladies sporadiques disparaissent. Le caractère principal du calme est une élévation remarquable du baromètre, laquelle atteint lentement son maximum, et l'ayant atteint décroît aussi lentement. L'air est transparent et agité doucement par un vent du nord-est.

« Le ciel est peu chargé de nuages. Mais le baromètre descend doucement, l'air devient brumeux, la brume s'épaissit, les nuages s'amoncellent, les objets que l'on touche sont comme visqueux, et les insectes volent en essaims. Ici l'ozone manque. Le baro-

mètre descend encore, et lorsque le brouillard devient transparent, on peut voir les cirus se mouvant lentement dans la direction du nord vers les plus hautes régions de l'air. Les courants du sud s'élèvent enfin et assez souvent un orage annonce le changement du vent. Il pleut, on trouve alors de l'ozone dans l'air, et le choléra diminue.

« Dans les temps de calme, non-seulement l'ozone est à son minimum, mais encore il disparaît souvent d'une manière complète. Les papiers ozonométriques devenus rapidement bruns, perdent leur couleur. L'air à ce moment n'est pas seulement chargé de produits de décomposition incomplétement oxydés, mais aussi d'hydrogène sulfuré, dont l'influence mortelle est trop connue pour que j'insiste sur ce sujet. De toutes les conditions météorologiques, celle du calme est la plus favorable à l'accumulation des produits de décomposition. Non-seulement la putréfaction gagne rapidement, mais encore il n'y a pas un souffle d'air pour disperser ses produits.

« De plus, la production de l'ozone essentiel à leur destruction par oxydation complète n'est pas assez grande pour les rendre sinon salutaires, au moins sans danger.

« J'ai noté avec grand soin à chaque occasion tous les faits médico-météorologiques du calme, et mon opinion est que cet état de l'air donne aux fièvres de toute espèce un grand développement, que l'invasion des fièvres et du choléra dépend justement de la durée du calme, de la saison de l'année, de la quantité de matières en décomposition dont l'air est chargé, et qui en font un véritable poison. Dans les villages de l'Inde, j'ai vu l'épidémie commencer avec la scarlatine, tourner au typhus, et finir par la dyssenterie et les vomissements, caractères rapidement mortels. Cependant tout disparaissait à l'aide de simples purgations et de bains. Nous ne pouvons rien sur la direction des vents, mais s'il nous était possible de diriger un courant d'air ozonisé venant du sud sur les lieux infestés par les fièvres et le choléra, ces maladies disparaîtraient.

« Comme preuve de ce que j'avance, je dirai que lors de l'invasion cholérique à Newcastle, en septembre 1853, le temps était au calme et l'ozone à son minimum. Le premier cas fut observé le 31 août, et l'épidémie atteignait son maximum d'intensité vers le 19 septembre. A cette date, j'écrivis au docteur Backer de

Bedfort que l'on pouvait s'attendre à voir le calme céder à un vent du sud et chargé d'ozone; je le priai d'observer ce qui se passerait.

« A la date du 20, le nombre de cas de mort était : cholériques 108, diarrhétiques 10. Comme je l'avait prédit, le courant ozonifère s'établit, et vers le 28, en 8 jours, le rapport de mortalité donnait pour le choléra 18, diarrhées 2. En septembre 1854, l'épidémie ravageait Londres et l'ozone était à son minimum. Vers le 10, j'écrivis à M. Glaither, pour lui signaler l'arrivée prochaine d'un courant ozonifère et diriger son attention sur ses effets par rapport au choléra. Depuis 16 jours on n'avait point constaté d'ozone à Hawarden; vers le 11 on indiquait ozone 1.0 et le 12, 4.0. A cette date, selon le rapport de M. Glaither, la maladie commence à diminuer d'intensité. D'après ces aperçus, on peut s'expliquer l'apparence périodique des épidémies et la prédominance du choléra à l'est et à l'ouest. »

N'a-t-on pas maintenant le droit d'être surpris en voyant quelques chimistes ne pas trouver encore des preuves suffisantes de l'existence de l'ozone dans l'air et douter par conséquent de sa présence?

On a avancé que la réaction du papier ozonométrique est due à d'autres causes, comme l'action de l'ammoniaque, de l'hydrogène sulfuré des acides nitreux ou nitrique que l'air peut contenir.

Le docteur Parkes a résumé les objections les plus sérieuses que l'on a élevées contre le mode actuel de détermination de l'ozone atmosphérique.

1° D'autres substances, outre l'ozone, agissent sur l'iodure de potassium, en particulier l'acide nitreux qui se forme en quantité notable pendant les orages. Cloëz a montré que l'air, pris à 1 mètre du sol, contient souvent assez d'acide nitreux pour rougir le tournesol. Le papier amido-ioduré se colore dans de l'air contenant 0,0005 de son volume d'acide nitreux. D'où quelques chimistes pensent qu'on n'a pas de preuve certaine de la présence de l'ozone dans l'atmosphère.

2° Le papier peut difficilement être placé matin et soir dans les mêmes conditions. Le vent, la lumière, l'humidité, la température (qui peut rendre l'iode libre), tout affecte la réaction.

Enfin, l'ozone peut et doit être détruit par son contact avec l'amidon; autre cause d'erreur.

Mais toutes ces objections ont une apparence d'exagération qui diminue singulièrement leur valeur.

L'ammoniaque et l'hydrogène sulfuré ont des effets opposés à ceux qu'on leur attribue. Ils blanchissent plutôt qu'ils ne colorent le papier-témoin (du moins dans un certain état de concentration).

M. le professeur Lowes a dit : « L'action de l'acide nitreux est, il est vrai, quelque peu analogue à celle de l'ozone sur la poudre-témoin, mais encore, bien qu'on le fasse agir sur le papier ozonométrique en quantité dix fois plus considérable que celle qui existe dans l'air d'après les chimistes français, il ne donne dans ces conditions aucune réaction appréciable. J'ai souvent exposé un papier de tournesol à côté d'un papier ozonométrique, lorsque les indications de ce dernier étaient très-nettes, et je n'ai jamais vu le papier de tournesol rougir. La couleur bleue disparaît, il est vrai, si le papier reste exposé pendant plusieurs jours, mais ce phénomène est dû à la propriété décolorante de l'iode et n'a aucun rapport avec l'action des acides.

La manifestation de l'ozone, plus nette pendant les orages, ne se répète d'ailleurs pas plus souvent qu'à une autre époque, lorsque les troubles électriques ne se font pas sentir et lorsque, par conséquent, il n'y a pas formation d'acide nitreux. Quant à l'objection concernant les conditions d'exposition, elle n'a pas de poids, ces conditions ne pouvant modifier les principes de la réaction. D'ailleurs la force du vent et le degré d'humidité influencent directement la formation de l'ozone et agissent tout naturellement sur le papier.

RECHERCHES THÉORIQUES ET EXPÉRIMENTALES

SUR LE

MOTEUR A PRESSION D'EAU

de M. F.-E. PERRET, ingénieur civil,

PAR M. ORDINAIRE DE LACOLONGE.

DESCRIPTION DU MOTEUR A PRESSION D'EAU.

Le *moteur à pression d'eau* de M. Perret se compose des organes principaux suivants : Planche 48, fig. 1, 2 et 3.

1° Un cylindre en bronze, tourné et alésé très-juste, où se meut un piston sur lequel l'eau agit par pression, tantôt d'un côté, tantôt de l'autre, ce qui lui donne un mouvement de va-et-vient.

2° Une double enveloppe cylindrique, dont les fonds arrondis emboîtent le tube en bronze où se meut le piston. L'une de ces enveloppes est en communication avec le réservoir du bief supérieur; la seconde conduit au dehors l'eau qui a cessé d'agir.

Pour mettre successivement chaque côté du corps de pompe en communication avec l'une ou l'autre de ces enveloppes, le cylindre est vers ses extrémités percé d'une série de lumières qui permettent au liquide d'entrer ou de sortir sous forme de nappe annulaire. Ces lumières ne règnent point sur toute la circonférence, il reste entre elles des parties pleines qui relient les prolongements du cylindre à son corps principal. Il suffit, pour produire le mouvement du piston, de mettre ces ouvertures dans une position telle que le liquide arrive d'un côté par la conduite de pression et qu'il dégorge de l'autre dans celle d'échappement; puis quand l'organe mobile est arrivé à l'une

des extrémités de sa course, il faut que les effets se renversent pour le forcer à marcher dans le sens opposé.

Puisque les lumières doivent marcher, il est indispensable que le corps de pompe se meuve, ce qui s'obtient par les dispositions suivantes :

La tige du piston, au moyen d'une bielle et d'une manivelle, commande un arbre rotatif armé d'un volant. Cet arbre porte, calé à angle droit, un excentrique dont la tige est articulée avec un collier qui enserre le prolongement du corps de pompe. Telle est la commande de la distribution.

C'est en ceci principalement que le moteur de M. Perret diffère de la machine à colonne d'eau. L'idée comme on le voit est fort simple; elle offrait cependant quelques difficultés pratiques à vaincre. L'eau n'étant que très-peu compressible, il fallait qu'au moment où l'introduction cesse, l'échappement commençât; la surface qui couvre un moment la lumière devait donc avoir exactement sa largeur; cette disposition forcée a ses inconvénients.

Le corps de pompe, toujours enveloppé et plein d'eau à la même pression, ne pèse verticalement que le poids du métal diminué de celui du volume liquide déplacé par lui ; cette circonstance réduit le frottement; mais que le jeu soit annulaire, ou plus large d'en haut que d'en bas, il n'en est pas moins vrai qu'il faut du jeu, que la pression supérieure ne le diminue pas et qu'une certaine quantité d'eau s'écoulera par là improductive. Ceci est la partie délicate de l'appareil. Ce jeu est réduit à peu de chose au moyen de segments suédois, mais il existe toujours.

Théorie des effets mécaniques du moteur.

Dans ce moteur, les pertes de force vive tiennent à trois causes générales :

Les dispositions prises pour amener le liquide au cylindre;

L'agencement spécial du moteur ;

Le mouvement des pièces mobiles.

Les pertes dues aux premières varient pour chaque cas avec les détails de la conduite.

Celles dépendant des formes du moteur sont données par des formules qui ne changent pas pour la même machine.

Le calcul des pertes de la troisième classe est aisé pour certains organes; mais pour d'autres, les moins importants fort heureusement, ce calcul est à peu près impossible faute d'expériences connues ou de données suffisantes pour apprécier les résistances.

Désignons par :

H' la hauteur du niveau de l'eau dans le réservoir supérieur au-dessus du centre de l'ouverture par laquelle le liquide pénètre dans la conduite d'amenée;

H'' la distance verticale de ce point à l'axe de la machine supposée horizontale;

H''' celle de l'axe au niveau du bassin inférieur. On suppose implicitement que le diamètre du piston est très-petit par rapport à $H' + H''$;

$H' + H'' + H'''$ sera la chute totale qui sera aussi désignée par H;

D le diamètre intérieur de la conduite d'amenée supposée cylindrique;

Ω son aire, $\Omega = \frac{\pi D^2}{4}$

L sa longueur;

U la vitesse de l'eau dans cette conduite;

p la longueur totale des lumières d'une des extrémités du corps de pompe, mesurée sur la circonférence moyenne de ce cylindre;

l leur largeur qui est aussi la moitié de leur course;

Ω_1 l'aire moyenne de ces lumières qui est $\Omega_1 = 1/2\, pl.$;

U_1 la vitesse moyenne avec laquelle le liquide traverse ces lumières;

D_2 le diamètre intérieur du corps de pompe qui est aussi celui du piston;

Ω_2 sa section $\Omega_2 = \frac{\pi D_2^2}{4}$;

$2R$ la course du piston égale à deux fois le rayon de la manivelle;

U_2 la vitesse moyenne de l'eau dans le corps de pompe qui est aussi celle dont est animé le piston;

D_3 le diamètre intérieur de la conduite de fuite supposée cylindrique;

Ω_3 son aire $\Omega_3 = \frac{\pi D^2_3}{4}$;

L_3 sa longueur;

U_3 la vitesse moyenne dont le liquide y est animé;

Q le volume d'eau, en mètres cubes, débité par seconde;

Δ la densité de l'eau, ou poids du mètre cube de ce liquide, qui est de 1000^k;

M la masse correspondante au volume Q qui est $\frac{\Delta Q}{g}$;

ω la vitesse angulaire moyenne du bouton de la manivelle;

N le nombre de tours de manivelle par minute.

La machine étant toujours munie d'un volant, on peut supposer ω constant ou périodique et, par conséquent, faire le calcul en prenant la moyenne entre les vitesses extrêmes.

Avant de commencer le calcul des pertes de force vive, il est bon de parler d'une propriété de la machine de M. Perret qui nous a été indiquée par un de nos jeunes camarades, M. de Langlade, ancien élève de l'École polytechnique, ingénieur civil des mines.

La manivelle et l'excentrique de distribution sont, avons-nous dit, calés à angle droit : supposons la bielle indéfinie, c'est-à-dire, dans toutes ses positions parallèle à l'axe du cylindre qui, prolongé, rencontre l'axe de rotation.

Quand le bouton de la manivelle est en R, fig. 14, celui de l'excentrique est en R', le piston est à l'extrémité de sa course, et les lumières de ce côté sont complétement fermées. Si l'arbre tourne d'un angle α, le bouton de la manivelle décrit un arc RA et le piston marche en ligne droite de

$$RB = R\,(1 - \cos \alpha) = e.$$

A ce moment, la vitesse dont la bielle est animée est

$$V = \frac{d\,e}{d\,\alpha} = -R\,\frac{d \cos \alpha}{d\,\alpha} = R \sin.\ \alpha$$

Les vitesses du piston sont donc proportionnelles au sinus de l'angle décrit, et il en sera de même du volume engendré par cet organe. Pendant le même temps, le centre de l'excentrique a marché de R' en A' et le corps de pompe de

$$OB' = l \sin \alpha,$$

quantité qui est aussi proportionnelle au sinus de l'angle décrit. Puisque l'orifice d'introduction varie comme le volume engendré, il faut, pour que le liquide introduit remplisse ce dernier, que la vitesse du passage par les lumières reste constante, toujours bien entendu dans le cas d'une bielle indéfinie. La vitesse dans les tubes de conduite doit donc varier comme la section de ces lumières, c'est-à-dire proportionnellement aux sinus des angles décrits par le bouton. En réalité, à cause de l'obliquité de la bielle, il n'en est pas absolument ainsi, mais il est certain que la vitesse du liquide dans les tubes d'amenée et de fuite, est périodiquement variable, ce qui conduit à ne rechercher que la moyenne pour l'une et pour l'autre.

La vitesse à la circonférence est égale au nombre des circonférences décrites dans une seconde, ce qui donne, les facteurs communs supprimés :

$$\omega R = \frac{\pi R N}{30}, \qquad N = \frac{30\,\omega}{\pi}. \qquad (1)$$

Le volume d'eau débité dans une minute, 60 Q, est égal à celui engendré par le piston dans le même laps de temps; on a donc :

$$60\,Q = 4\,N\,\Omega_2\,R$$

d'où

$$Q = \frac{N\,\Omega_2\,R}{15}$$

qui est encore, U_2 désignant la vitesse moyenne du piston,

$$Q = U_2\,\Omega_2. \qquad (2)$$

De ces deux dernières équations on conclura

$$U_2 = \frac{Q}{\Omega_2} = \frac{N R}{15} = \frac{2\,\omega\,R}{\pi}, \qquad (3)$$

en y remplaçant N par sa valeur tirée de (1).

Pour qu'il y ait continuité dans la masse liquide en mouvement, il faut qu'il passe dans l'unité de temps des volumes égaux par chaque section de l'appareil. Ce volume dans la conduite d'amenée ou de pression est :

$$Q = \Omega\,U. \qquad (4)$$

Il existe dans cette conduite un robinet qui joue le même rôle

que la vanne des roues hydrauliques et qui pourrait se nommer régulateur par analogie avec l'organe ainsi désigné par les conducteurs de locomotives. La section laissée libre par ce robinet à un moment donné, peut être à celle de la conduite dans un rapport déterminé $\frac{1}{m}$, m étant un nombre plus grand que 1 la plupart du temps, mais qui peut aussi être plus petit que l'unité quand la section du vide de la clef est plus grande que celle du tube. Dans le premier cas, il y a rétrécissement, épanouissement dans le second ; nous en verrons un exemple. On doit donc poser d'une façon générale, et u désignant la vitesse au passage du robinet

$$u = m\,U.$$

La section moyenne des lumières est :

$$\Omega_1 = \frac{1}{2}\,pl$$

et l'on a pour le volume moyen qui les traverse :

$$Q = \Omega_1 U_1. \qquad (5)$$

On aura de même dans le tube de fuite :

$$Q = \Omega_3 U_3. \qquad (6)$$

Remplaçant dans les équations fonctions de Q (2), (4), (5) et (6) Ω, ε_1, ε_2 et Ω_3 par leurs valeurs qui sont :

$$\Omega = \frac{\pi D^2}{4} \quad \Omega_1 = 1/2\,pl \quad \Omega_2 = \frac{\pi D^2_2}{4} \quad \Omega_3 = \frac{\pi D^2_3}{4}, \qquad (7)$$

on arrivera aux valeurs suivantes du rapport des différentes vitesses entre elles.

$$\left.\begin{aligned}
U &= \frac{\Omega_2}{\Omega} U_2 = \frac{D^2_2}{D^2} U_2 \\
u &= m\,U = m\,\frac{D^2_2}{D^2} U_2 \\
U_1 &= \frac{\Omega_2}{\Omega_1} U_2 = \frac{\pi D_2^2}{2\,pl} U_2 \\
U_3 &= \frac{\Omega_2}{\Omega_3} U_2 = \frac{D^2_2}{D^2_3} U_2
\end{aligned}\right\} \qquad (8)$$

Ce qui nous permettra de calculer toutes les pertes de force vive

en fonction de U_2, ou, ce qui revient au même, en fonction du nombre de tours N.

Voyons d'abord celles qui ont lieu dans les conduites.

Toutes les fois que, sous l'influence d'une différence de niveau ou d'un excès de pression, un liquide se rend d'un vase dans un autre en traversant un orifice de section S, le débit réel diffère du débit théorique dans une proportion qui varie avec les dispositions de cet orifice. Appelons q le débit théorique de cet orifice et v_1 la vitesse avec laquelle il devrait être traversé; on aurait :

$$q = S v_1,$$

mais au lieu de cela on a en réalité un volume différent qui est

$$q' = \mu S v_1$$

μ étant un nombre qui varie entre 0,95 et 0,60 suivant que les arêtes de l'ouverture d'écoulement sont plus ou moins arrondies. Il est souvent difficile de déterminer la vitesse v_1, tandis que la mesure directe de l'eau écoulée permet de connaître la vitesse v_2 de l'écoulement qui est donc

$$v_2 = \mu v_1$$

d'où on tire

$$v_1 = \frac{v_2}{\mu}.$$

En appliquant ceci à ce qui se rapporte au cas présent, on trouvera que la perte de force vive subie par la masse M, en passant du bassin supérieur dans la conduite de pression où l'eau est animée d'une vitesse U, sera :

$$M\left(\frac{1}{\mu}-1\right)^2 U^2 = M\left(\frac{1}{\mu}-1\right)^2 \frac{D_2^4}{D^4} U_2^2 \qquad (9)$$

que l'on peut écrire, pour plus de simplicité, dans les calculs subséquents,

$$M a U_2^2.$$

Le mouvement du liquide dans cette conduite développe d'autres résistances qui sont proportionnelles à sa longueur L, à son périmètre πD, et en raison inverse de sa section $\frac{\pi D^2}{4}$, de sorte que β étant un coefficient constant, que l'on peut prendre en général

égal à 0,0032, l'expression de la perte de force vive due à ces résistances est :

$$4M\beta \frac{L}{D} U^2 = 4M\beta L \frac{D^4_2}{D^5} U^2_2 = M b U^2_2. \qquad (10)$$

L'étranglement ou l'épanouissement de la veine fluide au passage du robinet donne lieu à une troisième perte de force vive qui se calcule comme la première; elle est donc :

$$M(u - U)^2 = M(m-1)^2 \frac{D^4_2}{D^4} U^2_2 = M c U^2_2. \qquad (11)$$

Par suite des variations de la vitesse dans la conduite, M. Perret dispose sur elle un réservoir d'air semblable à celui qu'on place sur la colonne élévatoire des pompes foulantes. Il en résulte une perte de force vive dans de certains moments, mais comme dans d'autres l'air, par suite de son élasticité, restitue ce qu'il a absorbé, on peut négliger cette perte.

Celles dans le corps de la machine sont les suivantes :

D'abord l'étranglement à l'entrée des lumières dont l'expression est :

$$M(U - U_1)^2 = M\left(\frac{D^2_2}{D^2} - \frac{\pi D^2_2}{2pl}\right)^2 U^2_2 = M d U_2^2. \quad (12)$$

L'épanouissement du liquide, en sortant des lumières pour pénétrer dans le corps de pompe, donne lieu à un nouveau terme qui est :

$$M(U_1 - U_2)^2 = M\left(\frac{\pi D_2^2}{2pl} - 1\right)^2 U^2_2 = M i U^2_2. \qquad (13)$$

La contraction que l'eau, quittant le cylindre, éprouve dans les lumières de sortie, est une nouvelle cause de perte qui est exprimée par

$$M(U_2 - U_1)^2$$

terme identique au précédent qui devra donc être pris deux fois.

Il faut encore tenir compte des résistances dans le tube de fuite. Elles sont calculées par le même procédé que celles existant dans le tube de pression, et exprimées par

$$4M\beta \frac{L_3}{D_3} U^2_3 = 4M\beta L_3 \frac{D^4_2}{D^5_3} U^2_2 = M n U^2_2.$$

Quand le liquide de la conduite de pression pénètre dans l'en-

veloppe de distribution, il subit un changement de direction sensiblement à angle droit.

En pareil cas, la formule à employer est :

$$M\,(0{,}0039 + 0{,}0186\,r)\,\frac{e}{r^2}\,u'^2 \qquad (14)$$

dans laquelle on désigne par :

r le rayon de la circonférence moyenne sur laquelle se meut le liquide;

e la longueur de l'arc qu'il décrit pendant ce mouvement;

u' la vitesse avec laquelle il a lieu.

Dans le cas présent, la vitesse est U, l'espace parcuru $e = \frac{\pi r}{2}$.

On aura donc :

$$\frac{e}{r^2} = \frac{\pi r}{2 r^2} = \frac{\pi}{2 r},$$

et la formule deviendra :

$$M\,(0{,}0039 + 0{,}0186\,r)\,\frac{\pi}{2\,r}\,\frac{D_2^4}{D^4}\,U_2^2, \qquad (15)$$

En pénétrant de l'enveloppe de distribution dans les lumières, puis dans le cylindre, le coude est à 180°, la vitesse est U_1, le rayon r' et l'espace parcouru $\pi r'$, d'où :

$$\frac{e}{r^2} = \frac{\pi}{r'}.$$

L'expression est alors :

$$M\,(0{,}0039 + 0{,}0186\,r')\,\frac{\pi}{r'}\cdot\frac{\pi^2\,D_2^4}{4\,p^2\,l^2}\,U_2^2. \qquad (16)$$

Pour sortir du cylindre, nouveau coude à 180° sur un cercle de rayon r'', parcouru avec une vitesse U_1, donc :

$$M\,(0{,}0039 + 0{,}0186\,r'')\,\frac{\pi}{r''}\cdot\frac{\pi^2\,D_2^4}{4 p^2\,l^2}\,U_2^2. \qquad (17)$$

Enfin, pour pénétrer de l'enveloppe d'échappement dans le tube de sortie, le liquide se meut suivant un angle droit, sur un cercle de rayon r''', et il est animé d'une vitesse U_3; ce qui conduit à l'expression :

$$M\,(0{,}0039 + 0{,}0186\,r''')\,\frac{\pi}{2\,r'''}\cdot\frac{D_2^4}{D_3^4}\,U_2^2. \qquad (18)$$

Il sera commode dans les calculs numériques de faire la somme des expressions (16) et (17) qui est :

$$M\pi\left[0{,}0039\left(\frac{1}{r'}+\frac{1}{r''}\right)+2\times 0{,}0186\right]\frac{\pi^2 D^4_2}{4p^2 l^2}U_2^2=M\,q\,U_2^2 \quad (19)$$

On peut encore faire celle des expressions (15) et (18) qui est :

$$M\frac{\pi}{2}\left[0{,}0039\left(\frac{1}{rD^4}+\frac{1}{r'''D_3^4}\right)+0{,}0186\left(\frac{1}{D^4}+\frac{1}{D^4_3}\right)\right]D^4_2U_2^2$$
$$=M\,s\,U^2_2 \quad (20)$$

Elle facilitera les calculs dans le cas où la conduite de fuite aura le même diamètre que celle d'amenée, c'est-à-dire, quand $D=D_3$. Elle devient alors :

$$M\frac{\pi}{2}\left[0{,}0039\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{r'''}\right)+2\times 0{,}0186\right]\frac{D^4_2}{D^4}U^2_2=M\,s'\,U_2^2. \quad (21)$$

Mais dans tous les autres cas il sera aussi simple d'employer les formules (15) et (18).

Dans les diverses machines qu'il a construites, M. Perret a toujours fait $D = D_3$. Ce sera donc de la formule (21) qu'il faudra se servir dans les calculs numériques subséquents.

Enfin, la vitesse avec laquelle le liquide s'écoule par le tube de fuite est encore perdue pour l'effet utile et donne lieu à une dernière perte de force vive :

$$M\,U^2_3=M\frac{D^4_2}{D^4_3}U^2_2=M\,t\,U^2_2. \quad (22)$$

La somme de toutes les pertes de force vive dues aux résistances que le liquide éprouve dans son trajet sera donc :

$$M(a+b+c+d+2i+n+q+s+t)\,U^2_2=M\,A\,U^2_2.$$

Les quantités entre parenthèses étant fonctions des dimensions de l'appareil et de coefficients fixes; s devant être remplacé par s' quand les tuyaux de pression et de fuite sont du même diamètre ; et A représentant la somme de ces quantités.

Il reste à calculer les quantités de travail absorbées par les résistances passives.

Le périmètre du piston formé d'un double cuir embouti est πD_2. Ce cuir de chaque côté est, dans sa partie en contact avec

les parois, haut de E. Il n'y a jamais qu'une face de l'organe soumise à la pression motrice. La surface de contact avec les parois du corps de pompe est donc $\pi D_2 E$. Le chemin parcouru par seconde, ou vitesse, est U_2; la pression qui agit sur le piston est celle due à une colonne liquide de densité Δ haute de $H' + H''$. Le coefficient de frottement étant désigné par f, le travail consommé par le frottement du piston sera donc :

$$f \pi D_2 E \Delta (H' + H'') U_2 \qquad (23)$$

qui, à cause de (3) et de (7), qui donnent :

$$U_2 = \frac{4Q}{\pi D_2^2}$$

et de

$$\Delta Q = Mg$$

devient :

$$Mg \frac{4fE}{D_2}(H' + H''). \qquad (24)$$

En désignant par ρ le rayon des tourillons de l'arbre de rotation, f' le coefficient de frottement de ces organes, k le poids du volant, la quantité de travail absorbée par le mouvement de ces organes sera par seconde :

$$\frac{2 \pi \rho k f' N}{60}$$

expression qui, par des moyens analogues à ceux employés pour la précédente, se ramènera à la forme

$$M g \frac{2 \rho k f'}{\Delta D_2^2 R}. \qquad (25)$$

Il y a encore d'autres organes dont le mouvement consomme une certaine quantité de travail :

Le glissement sur le guide qui dirige la tige du piston;

La rotation du bouton de la manivelle dans la tête de bielle;

Le mouvement longitudinal et alternatif du cylindre dans son enveloppe;

La rotation de l'excentrique de distribution dans son collier.

Toutes ces pertes de travail sont susceptibles d'être calculées: les unes nous ont paru assez peu importantes pour pouvoir être

négligées. Dans le but d'apprécier les autres, il faudrait faire des décompositions de forces qui supposent dans l'ajustage des pièces une précision mathématique qui ne saurait exister, de telle sorte que les résultats du calcul différeraient beaucoup de la réalité. On n'en a donc pas tenu compte.

D'après le principe des forces vives, on pourra donc poser :

$$Pv = MgH - \frac{1}{2} MAU^2_2 - M\, g\frac{4fE}{D_2}(H'+H'') - Mg\frac{2\rho kf}{\Delta D_2^2 R} \quad (26)$$

Pv désignant comme d'habitude le travail disponible par seconde. En divisant de part et d'autres par MgH, cette équation devient la suivante :

$$\frac{Pv}{MgH} = 1 - A\frac{U^2_2}{2gH} - \frac{4fE}{D_2}.\frac{H'+H''}{H} - \frac{2\rho kf}{\Delta D^2_2 R}.\frac{1}{H} \quad (27)$$

dans laquelle le premier terme est le rapport du travail disponible au travail absolu du moteur. C'est donc ce que l'on nomme l'équation du rendement.

Sous cette forme elle rend sensibles les déductions suivantes:

Dans une machine déterminée le rapport du travail consommé par les tourillons, à celui absolu du moteur, est constant sous une chute donnée, quelle que soit la vitesse de rotation.

Le rapport du travail consommé par le piston à celui absolu du moteur est constant, quelle que soit la vitesse de rotation, tant que le rapport $\frac{H'+H''}{H}$ *est constant, c'est-à-dire tant que sur une chute donnée la machine conserve sa même position.*

Le rapport de ces quantités de travail est d'autant moindre que la machine est installée plus près du niveau du bief supérieur, car alors le numérateur de la fraction $\frac{H'+H''}{H}$ est plus petit; mais il faut, pour qu'il en soit ainsi, que le tube de fuite soit du même diamètre que celui de pression, sans quoi les résistances dans le premier cas seraient, par mètre courant, plus fortes que dans le second, ce qui diminuerait le rendement.

Les pertes dues aux diverses résistances éprouvées par le liquide en mouvement sont d'autant moindres que la vitesse du piston, ou le nombre de tours par minute est plus petit.

En prenant les nombres de tours pour abscisses et les rende-

ments pour ordonnées, on obtiendra une courbe qui est une parabole, dont le sommet est situé sur l'axe des y à une hauteur

$$1-\frac{4fE}{D_2}\,\frac{H'+H''}{H}-\frac{2\rho k f'}{\Delta D_2^2 R}\cdot\frac{1}{H}.$$

Telle sera la limite supérieure du rendement, valeur que l'on ne pourra jamais atteindre, mais dont on se rapprochera d'autant plus que U_2 sera plus petit.

Ceci montre que *le rendement n'est pas susceptible d'un maximum relatif* et qu'il y a avantage à faire marcher la machine à petite vitesse.

Outre ces conclusions relatives à la marche d'une machine déterminée, on peut encore tirer des équations posées jusqu'ici des enseignements applicables à l'établissement des moteurs de ce genre. Il est d'abord évident (11) qu'un robinet dont la section est plus grande que celle du tube n'offre aucun avantage, et qu'il convient que les sections soient égales.

L'expression (12) relative à la contraction dans les lumières devient nulle quand

$$2\,pl=\pi D^2,$$

c'est-à-dire quand la section des lumières est double de celle du tube de fuite. Cette disposition n'est pas difficile à adopter puisque les orifices se trouvent sur une circonférence, ce qui permet de leur donner peu de largeur. Cependant, en réalité, il y aura toujours des pertes aux lumières, même dans ce cas, parce qu'il y aura étranglement pendant une partie de l'introduction, et épanouissement pendant l'autre. M. Perret fait d'habitude $pl=\pi D^2$.

Il y a toujours avantage à arrondir les bords de l'orifice du réservoir où la conduite de pression prend naissance, car cela diminue (9) le facteur $\frac{1}{\mu}-1$.

Cette même expression, celles (10) et (15) sont d'autant plus petites numériquement que U est plus petit, c'est-à-dire le diamètre de la conduite de pression plus grand.

Les expressions (18), (20) et (22) montrent également que U_3, la vitesse dans la conduite de fuite, est d'autant plus avantageuse

qu'elle est plus petite et le diamètre de ces tubes conséquemment plus grand. On a déjà dit qu'en faisant

$$D_3 = D,$$

on avait l'avantage de pouvoir placer le moteur à des hauteurs quelconques sur le parcours de la conduite (mais inférieures à $10^m,30$), sans augmenter les pertes de force vive; on peut donc adopter ce rapport comme M. Perret l'a fait.

En prenant

$$U_1 = U_2,$$

c'est-àdire, en donnant à la section du corps de pompe une aire égale à celle moyenne des lumières, le terme relatif à l'épanouissement dans le récepteur disparaît.

Toutefois, cette circonstance ne se présentera point dans la réalité, puisque la vitesse dans les lumières est à peu près constante, tandis que celle du piston varie comme les sinus, ainsi qu'on l'a vu en commençant.

Les expressions (16) et (17) font voir qu'à égalité de parcours et de rayon de courbure, les pertes dues aux changements de direction sont d'autant moindres que la vitesse dans les lumières est plus petite, ou leur section plus grande.

Enfin, le frottement du piston et celui des tourillons (24) et (25) sont d'autant plus petits que le diamètre du corps de pompe est plus grand. M. Perret fait d'habitude

$$D_2 = D.$$

Il résulte de tout ceci qu'il est avantageux que les tubes et le cylindre soient aussi grands de diamètre que les conditions d'établissement de la machine le permettent.

Expériences au frein.

Le *moteur à pression d'eau*, tel qu'il a été décrit en commençant, et dont la fig. 1, planche 48, présente une coupe longitudinale, est le premier modèle établi par M. Perret. Ce moteur a été l'objet d'expériences présentées au tableau suivant(*).

(*) L'ordre suivi n'est peut-être pas celui qui semble le plus rationnel, mais comme il s'agissait d'un moteur inconnu, on a opéré de manière à élucider les faits à mesure qu'une circonstance quelconque les laissait entrevoir.

Voici comment on a obtenu les constantes au moyen desquelles les calculs ont été opérés :

Le frein était long de deux mètres et avait été préalablement équilibré; N étant le nombre de tours par minute, la vitesse du point de suspension du frein est donc :

$$V = \frac{4\pi}{60} N = 0{,}2094395\, N.$$

La course du piston est : $2R = 0^m{,}24$ et par conséquent, la vitesse moyenne par seconde de cet organe de

$$\frac{4RN}{60} = 0{,}008\, N.$$

La section du cylindre, qui a $0^m{,}08$ de diamètre, est $\pi . \frac{\overline{0^m{,}08}^2}{4}$ et par suite le volume engendré dans une seconde par le mouvement du piston est :

$$\pi . \frac{\overline{0{,}08}^2}{4} . 0{,}008\, N = 0{,}0000128\, \pi\, N = 0{,}0000402124\, N.$$

TABLEAU DES EXPÉRIENCES.

Les figures 4 à 12 présentent le tracé graphique des résultats obtenus, les nombres de tours étant pris pour abscisses et les rendements pour ordonnées.

Nos des expériences.	POIDS du volume d'eau débité par seconde	CHUTE mesurée jusqu'à l'axe de la machine	CHUTE totale	QUANTITÉ de travail brut		NOMBRE de tours du volant par minute	VITESSE du frein par seconde	POIDS du plateau	EFFET utile	RENDEMENT		RENDEMENT théorique.	VOLUME engendré par le piston	Différence	VITESSE du piston par seconde
	ΔQ.	H'.	H.	ΔQH'.	ΔQH.	N.	V.	P.	PV.	$\frac{PV}{\Delta QH'}$.	$\frac{PV}{\Delta QH}$.		Q' = 0.0000402124 N	Q − Q'.	V = 0.2094395 N. 0.008 N.
Expériences de la gare de Ségur.															
1re SÉRIE. — La conduite d'amenée a 0m.08 de diamètre, le robinet présente une section égale aux 8/5 de celle du tube, le volant pèse 52k.70, l'axe de la machine est à 0m.96 au-dessus d'un bassin plein d'eau où plonge de 0m.08 le tube par lequel s'échappe l'eau qui a fait mouvoir le piston.															
	kil.	m.	m.	km.	km.		m.	k.	km.				lit.		m.
1	4.83	7.79	8.75	37.626	42.262	113.8	23.813	1.250	29.276	0.791	0.704	»	4.58	+ 0.25	0.910 [1]
2	4.88	7.89	8.85	38.503	43.188	125.3	26.223	1.200	31.468	0.817	0.728	»	5.04	− 0.16	1.002
3	5.30	7.81	8.77	41.393	46.481	140.4	29.393	1.150	33.802	0.816	0.727	»	5.65	− 0.35	1.123
4	5.59	7.89	8.85	44.105	49.471	145.9	30.496	1.100	33.546	0.760	0.676	»	5.86	− 0.27	1.166
5	6.70	7.80	8.760	52.260	58.692	168.9	35.341	1.050	37.108	0.710	0.632	»	6.79	− 0.09	1.360
6	6.84	7.815	8.775	53.455	60.021	170.6	35.708	1.000	35.708	0.668	0.594	»	6.86	− 0.02	1.365
7	6.82	7.82	8.78	53.332	59.880	173.3	36.267	0.950	34.454	0.646	0.575	»	6.97	− 0.15	1.386
8	7.50	7.82	8.78	58.650	65.850	181.3	37.941	0.900	34.147	0.582	0.519	»	7.29	+ 0.21	1.450
9	7.41	7.88	8.84	58.391	65.504	186.6	39.056	0.850	33.198	0.568	0.506	»	7.50	− 0.09	1.493
10	7.50	7.83	8.79	58.725	65.925	190.0	39.793	0.800	31.834	0.542	0.488	»	7.64	− 0.14	1.520
2e SÉRIE. — Mêmes dispositions que pour la précédente, sauf pour le tuyau du bas qui a été enlevé; au sortir du cylindre, l'eau motrice tombe librement dans l'air.															
1	5.917	7.72	»	45.679	»	157.2	32.918	1.000	32.918	0.721	»	»	6.321	− 0.404	1.257 [2]
2	6.204	7.77	»	48.205	»	159.8	33.477	0.950	31.803	0.659	»	»	6.426	− 0.222	1.279
3	6.361	7.75	»	49.298	»	162.5	34.037	0.900	30.633	0.621	»	»	6.534	− 0.173	1.300
4	6.952	7.78	»	54.086	»	175.8	36.824	0.850	31.300	0.579	»	»	7.069	− 0.117	1.407
5	7.722	7.84	»	60.540	»	193.6	40.541	0.800	32.433	0.535	»	»	7.785	− 0.063	1.549
6	7.827	7.82	»	61.207	»	203.3	42.594	0.750	31.945	0.522	»	»	8.175	− 0.348	1.627
7	8.518	7.81	»	66.525	»	214.9	45.004	0.700	31.503	0.474	»	»	8.641	− 0.123	1.719
8	8.847	7.79	»	68.918	»	225.5	47.213	0.650	30.695	0.445	»	»	9.068	− 0.221	1.804 [3]
9	9.143	7.76	»	70.950	»	238.9	50.043	0.550	27.524	0.388	»	»	9.606	− 0.463	1.911 [4]

1. En commençant la série, la marche est très-douce, puis il y a dans le cylindre des chocs qui deviennent d'autant plus marqués que la vitesse de la rotation est plus grande.
2. Dans cette série, les chocs sont moins forts et commencent plus tard que dans la précédente. Le coup a lieu quand le piston a fini sa course et revient vers l'axe de rotation.
3. Les chocs commencent à être sensibles. — 4. Ils sont très-marqués.

Nos des expériences.	POIDS du volume d'eau débité par seconde	CHUTE mesurée jusqu'à l'axe de la machine	CHUTE totale	QUANTITÉ de travail brut		NOMBRE de tours du volant par minute	VITESSE du frein par seconde V.	POIDS du plateau	EFFET utile	RENDEMENT		RENDEMENT théorique.	VOLUME engendré par le piston	Différence	VITESSE du piston par seconde
	ΔQ.	H'.	H.	$\Delta Q H'$.	$\Delta Q H$.	N.	$0.2094395\,N$.	P.	PV.	$\frac{PV}{\Delta Q H'}$.	$\frac{PV}{\Delta Q H}$.		$Q' = 0.0000402124\,N$	$Q - Q'$.	$0.008\,N$.
3e Série. — Mêmes dispositions que pour la 1re série, sauf pour le robinet qui présente une section égale aux 4/5 de celle du tube.															
	kil.		m.		km.		m.	k.	km.				lit.		m.
1	6.272	»	8.76	»	54.943	149.2	31.24	1.150	35.926	»	0.654	»	6.000	+ 0.272	1.193 [1]
2	5.916	»	8.76	»	51.824	157.2	32.92	1.100	36.212	»	0.699	»	6.321	— 0.405	1.258
3	6.272	»	8.78	»	54.692	162.5	34.04	1.050	35.742	»	0.653	»	6.534	— 0.262	1.300 [2]
4	7.071	»	8.78	»	62.083	177.6	37.19	1.000	37.190	»	0.559	»	7.142	— 0.071	1.421 [3]
5	7.130	»	8.79	»	62.673	182.9	38.31	0.900	34.479	»	0.550	»	7.355	— 0.225	1.463 [4]
6	8.077	»	8.79	»	70.997	197.1	41.28	0.800	33.024	»	0.465	»	7.926	+ 0.151	1.577
7	8.018	»	8.80	»	70.558	198.9	41.66	0.750	31.245	»	0.443	»	7.998	+ 0.020	1.591
8	8.225	»	8.80	»	72.644	209.6	43.88	0.700	30.716	»	0.423	»	8.428	— 0.173	1.677 [5]
4e Série. — Mêmes dispositions que pour la 1re série, sauf pour le robinet qui présente une section égale aux 2/5 de celle du tube.															
1	3.785	»	8.77	»	33.194	95.9	20.086	1.200	24.103	»	0.726	»	3.856	— 0.071	0.767 [6]
2	4.229	»	8.77	»	37.088	106.6	22.317	1.150	25.664	»	0.692	»	4.287	— 0.058	0.852
3	4.762	»	8.77	»	41.763	117.2	24.549	1.100	27.004	»	0.646	»	4.713	+ 0.049	0.937
4	4.762	»	8.78	»	41.810	119.1	25.106	1.050	26.361	»	0.630	»	4.789	— 0.027	0.953
5	4.940	»	8.77	»	43.324	125.2	26.223	1.000	26.223	»	0.605	»	5.035	— 0.095	1.001 [7]
6	5.650	»	8.78	»	49.807	138.5	29.013	0.850	24.661	»	0.495	»	5.570	+ 0.080	1.108 [8]
7	5.384	»	8.79	»	47.325	141.2	29.570	0.800	23.656	»	0.499	»	5.678	— 0.294	1.129
8	5.739	»	8.80	»	50.503	143.8	30.128	0.700	21.090	»	0.417	»	5.782	— 0.043	1.150
9	6.361	»	8.79	»	55.825	159.8	33.476	0.600	20.086	»	0.359	»	6.426	— 0.065	1.278
10	6.450	»	8.79	»	56.695	162.5	34.033	0.550	18.718	»	0.331	»	6.534	— 0.084	1.300
11	7.160	»	8.80	»	63.008	181.1	37.939	0.500	18.969	»	0.301	»	7.282	— 0.122	1.449

1. Mouvement très-doux. — 2. Mouvement doux. — 3. Les chocs et le bruit commencent à être perceptibles. — 4. Ils augmentent. — 5. Ils sont très-marqués.
6. Mouvement très-doux. 7. Les chocs et le bruit commencent à être perceptibles. — 8. Ils vont en augmentant jusqu'à la fin de la série, où ils sont très-marqués.

Nos des expériences.	POIDS du volume d'eau débité par seconde	CHUTE mesurée jusqu'à l'axe de la machine.	CHUTE totale	QUANTITÉ de travail brut		NOMBRE de tours du volant par minute	VITESSE du frein par seconde V.	POIDS du plateau	EFFET utile	RENDEMENT		RENDEMENT théorique.	VOLUME engendré par le piston	Différence	VITESSE du piston par seconde
	ΔQ.	H'.	H.	$\Delta Q H'$.	$\Delta Q H$.	N.	$0.2094395\,N$.	P.	PV.	$\frac{PV}{\Delta Q H'}$.	$\frac{PV}{\Delta Q H}$.		$Q' = 0.0000402124\,N$	$Q - Q'$.	$0.008\,N$.
5e Série. — Mêmes dispositions que pour la 1re série, sauf pour le robinet qui ne présente plus ni élargissement ni étranglement.															
	k.		m		km.		m.	k.	km.				lit.		m.
1	4.940	»	8.75	»	43.225	127.9	26.781	1.275	34.146	»	0.789	0.821	5.143	— 0.203	1.023 [1]
2	4.999	»	8.75	»	43.741	131.4	27.518	1.250	34.407	»	0.786	0.817	5.284	— 0.285	1.051
3	5.531	»	8.74	»	48.341	145.6	30.485	1.200	36.582	»	0.757	0.807	5.855	— 0.324	1.164 [2]
4	5.946	»	8.74	»	51.968	151.0	31.613	1.150	36.355	»	0.699	0.802	6.072	— 0.126	1.208 [3]
5	6.242	»	8.74	»	54.556	158.1	33.097	1.100	36.407	»	0.667	0.795	6.358	— 0.116	1.265
6	6.656	»	8.75	»	58.240	170.5	35.708	1.050	37.493	»	0.644	0.783	6.856	— 0.200	1.364
7	6.716	»	8.75	»	58.765	174.0	36.444	1.000	36.444	»	0.620	0.780	6.997	— 0.281	1.392
8	6.952	»	8.75	»	60.830	186.5	39.056	0.950	37.103	»	0.609	0.766	7.500	— 0.548	1.492 [4]
9	7.781	»	8.75	»	68.084	193.6	40.506	0.900	36.455	»	0.535	0.758	7.785	— 0.004	1.549
10	8.137	»	8.75	»	71.199	197.1	40.932	0.800	32.746	»	0.459	0.754	7.936	+ 0.201	1.577
11	8.962	»	8.75	»	78.417	223.8	46.867	0.700	32.807	»	0.418	0.721	8.999	— 0.037	1.790 [5]
6e Série. — La conduite d'amenée a 0.045 de diamètre, il n'y a pas de robinet. Les autres circonstances restent les mêmes que pour la 1re série.															
1	4.032	»	9.622	»	38.988	97.6	20.453	1.050	21.475	»	0.551	»	3.929	+ 0.123	0.781 [6]
2	4.347	»	9.390	»	40.818	111.9	23.433	0.850	19.918	»	0.488	»	4.500	— 0.153	0.895
3	4.821	»	9.435	»	45.846	119.0	24 917	0.700	17.442	»	0.380	»	4.785	+ 0.036	0.952
4	5.413	»	9.519	»	51.526	140.3	29.380	0.500	14.690	»	0.285	»	5.642	— 0.229	1.122 [7]
5	5.828	»	9.478	»	55.238	145.6	30.496	0.350	10.674	»	0.193	»	5.855	— 0.027	1.164
6	6.361	»	9.568	»	60.862	159.8	33.476	0.220	7.365	»	0.121	»	6.426	— 0.065	1.278 [8]

1. Mouvement très-doux. — 2. Mouvement doux. — 3. Les chocs et le bruit commencent à être perceptibles. — 4. Ils augmentent sensiblement. — 5. Chocs très-marqués.
6. Mouvement très-doux. 7. Mouvement doux. — 8. Un peu de bruit et de chocs.

Nos des expériences.	POIDS du volume d'eau débité par seconde	CHUTE mesurée jusqu'à l'axe de la machine	CHUTE totale	QUANTITÉ de travail brut		NOMBRE de tours du volant par minute	VITESSE du frein par seconde V.	POIDS du plateau	EFFET utile	RENDEMENT		RENDEMENT théorique.	VOLUME engendré par le piston	Différence	VITESSE du piston par seconde
	ΔQ.	H'.	H.	$\Delta Q H'$.	$\Delta Q H$.	N.	$0.2094395\,N$.	P.	PV.	$\frac{PV}{\Delta Q H'}$.	$\frac{PV}{\Delta Q H}$.		$Q' = 0.0000402124\,N$	$Q - Q'$.	$0.008\,N$.
7e Série. — Mêmes dispositions que pour la 5e série, sauf pour le volant qui a été remplacé par un autre pesant 22k.30.															
	k.		m.		km.		m.	k.	km.				lit.		m.
1	6.420	»	8.67	»	55.661	159.8	33.477	1.150	38.498	»	0.691	»	6.426	— 0.006	1.278 [1]
2	6.952	»	8.67	»	60.274	174.0	36.456	1.100	40.102	»	0.665	»	6.997	— 0.045	1.392 [2]
3	7.249	»	8.67	»	62.849	188.3	39.424	1.000	39.424	»	0.627	»	7.572	— 0.323	1.506 [3]
4	7.841	»	8.67	»	67.981	195.4	40.920	0.900	36.828	»	0.542	»	7.857	— 0.016	1.563 [4]
5	8.373	»	8.67	»	72.594	213.1	44.635	0.800	35.708	»	0.491	»	8.569	— 0.196	1.704
6	8.669	»	8.67	»	75.160	216.7	45.383	0.700	32.083	»	0.426	»	8.714	— 0.045	1.733 [5]
8e Série. — Mêmes dispositions que pour la 5e série. On a placé sur l'enveloppe, en communication avec la conduite de sortie, à droite et à gauche de sa jonction, un petit robinet. On les a laissés ouverts tous deux pendant cette série.															
1	5.176	»	8.72	»	45.135	142.1	29.604	1.200	35.525	»	0.787	0.810	5.714	— 0.538	1.137 [6]
2	5.828	»	8.71	»	50.762	154.5	32.360	1.150	37.214	»	0.733	0.799	6.213	— 0.385	1.236
3	6.834	»	8.70	»	59.456	170.5	35.708	1.100	39.279	»	0.660	0.783	6.856	+ 0.022	1.384
4	7.189	»	8.71	»	62.616	186.5	39.056	1.050	41.009	»	0.655	0.766	7.500	— 0.311	1.492
5	7.544	»	8.71	»	65.708	195.4	40.920	1.000	40.920	»	0.623	0.756	7.857	— 0.313	1.563 [7]
6	7.722	»	8.71	»	67.259	198.9	41.656	0.950	39.573	»	0.588	0.752	7.998	— 0.276	1.591
7	8.374	»	8.71	»	72.937	213.1	44.635	0.900	40.171	»	0.551	0.735	8.569	— 0.195	1.704
8	9.049	»	8.71	»	78.817	234.4	49.099	0.800	39.279	»	0.498	0.706	9.426	— 0.377	1.875
9	8.847	»	8.74	»	77.323	243.3	50.963	0.700	35.674	»	0.461	0.694	9.784	— 0.937	1.946 [8]
10	9.735	»	8.72	»	84.889	250.4	52.447	0.600	31.468	»	0.371	0.683	10.069	— 0.334	2.003
11	10.179	»	8.71	»	88.659	266.4	55.795	0.500	27.897	»	0.314	0.658	10.712	— 0.533	2.131 [9]

1. Mouvement doux. — 2. Mouvement assez doux. — 3. Les chocs et le bruit sont sensibles. — 4. Ils augmentent, surtout le bruit de fer. — 5. Beaucoup de chocs et de bruit.
6. Mouvement très-doux. 7. Les chocs et le bruit commencent à être perceptibles. — 8. Ils augmentent sensiblement. — 9. Chocs très-marqués, bruit de fer très-fort.

Nos des expériences.	POIDS du volume d'eau débité par seconde	CHUTE mesurée jusqu'à l'axe de la machine	CHUTE totale	QUANTITÉ de travail brut		NOMBRE de tours du volant par minute	VITESSE du frein par seconde V.	POIDS du plateau	EFFET utile	RENDEMENT		RENDEMENT théorique.	VOLUME engendré par le piston	Différence	VITESSE du piston par seconde
	ΔQ.	H'.	H.	$\Delta Q H'$.	$\Delta Q H$.	N.	$0.2094395\,N$.	P.	PV.	$\frac{PV}{\Delta Q H'}$.	$\frac{PV}{\Delta Q H}$.		$Q' = 0.0000402124\,N$	$Q - Q'$.	$0.008\,N$.

Expériences faites à l'établissement des eaux, rue Paulin.

9e Série. — Les petits robinets de l'enveloppe sont restés ouverts pendant toute la série.

Nos des expériences	ΔQ	H'	H	$\Delta Q H'$	$\Delta Q H$	N	V	P	PV	$\frac{PV}{\Delta Q H'}$	$\frac{PV}{\Delta Q H}$	Rendement théorique	Q'	$Q - Q'$	$0.008\,N$
	m.		m.		km.		m.	k.	km.				lit.		m.
1	7.462	»	26.845	»	200.3	185	38.746	3.200	123.987	»	0.619	0.817	7.439	+ 0.023	1.478 [1]
2	7.978	»	26.665	»	212.7	206	43.144	3.000	129.432	»	0.608	0.801	8.284	— 0.306	1.648 [2]
3	7.978	»	26.645	»	212.6	208	43.563	2.900	126.333	»	0.593	0.800	8.364	— 0.386	1.664
4	8.380	»	26.640	»	223.2	214	44.820	2.800	125.496	»	0.562	0.795	8.605	— 0.225	1.697
5	8.844	»	26.557	»	234.9	220	46.077	2.700	124.405	»	0.529	0.790	8.848	— 0.004	1.760
6	9.482	»	26.532	»	251.6	238	49.847	2.600	129.597	»	0.515	0.781	9.570	— 0.088	1.904
7	9.950	»	26.485	»	267.5	245	51.313	2.500	128.282	»	0.479	0.769	9.852	+ 0.098	1.961
8	10.840	»	26.465	»	286.9	264	55.292	2.400	132.701	»	0.462	0.752	10.616	+ 0.224	2.112
9	10.790	»	26.415	»	285.0	276	57.805	2.200	127.171	»	0.446	0.740	11.099	— 0.309	2.208
10	10.610	»	26.242	»	278.0	280	58.643	1.900	111.422	»	0.401	0.735	11.259	— 0.649	2.237
11	11.275	»	26.237	»	296.0	284	59.481	1.800	107.064	»	0.362	0.731	11.420	— 0.145	2.270
12	11.275	»	26.205	»	296.0	288	60.318	1.700	102.541	»	0.346	0.727	11.581	— 0.306	2.304
13	11.950	»	26.185	»	312.8	292	61.156	1.600	97.850	»	0.312	0.723	11.742	+ 0.208	2.336 [3]
14	11.950	»	26.167	»	312.6	306	64.088	1.500	96.132	»	0.307	0.707	12.305	— 0.355	2.448
15	12.670	»	26.127	»	320.4	308	64.507	1.300	83.859	»	0.261	0.705	12.385	+ 0.285	2.464 [4]

1. On ne peut mettre plus de 3 kil. 20 sur le plateau, et même avec ce poids le serrage est délicat. — 2. La marche est bonne et régulière. — 3. Depuis un moment, il y a du bruit et des claquements. — 4. L'appareil qui est monté sur des tréteaux tremble trop pour qu'on puisse continuer.

Nos des expériences.	POIDS du volume d'eau débité par seconde	CHUTE mesurée jusqu'à l'axe de la machine	CHUTE totale	QUANTITÉ de travail brut		NOMBRE de tours du volant par minute	VITESSE du frein par seconde V.	POIDS du plateau	EFFET utile	RENDEMENT		RENDEMENT théorique	VOLUME engendré par le piston	Différence	VITESSE du piston par seconde
	ΔQ.	H'.	H.	$\Delta Q H'$.	$\Delta Q H$.	N.	0.2094395 N.	P.	PV.	$\frac{PV}{\Delta Q H'}$.	$\frac{PV}{\Delta Q H}$.		$Q' = 0.0000402124$ N	$Q - Q'$.	0.008 N.

Expériences d'Arcachon.

10e Série.

	k.		m.		km.		m.	k.	km.				lit.		m.
1	9.605	»	31.63	»	303.81	106.5	22.305	3.800	84.76	»	0.279	»	4.283	+ 5.322	0.852 [1]
2	10.253	»	31.61	»	324.10	112.0	23.457	3.600	84.44	»	0.260	»	4.504	+ 5.749	0.896
3	10.915	»	31.60	»	344.91	142.0	29.740	3.200	95.168	»	0.276	»	5.710	+ 5.205	1.136 [2]
4	12.627	»	31.58	»	398.76	156.0	32.672	3.000	98.016	»	0.246	»	6.273	+ 6.354	1.248 [3]
5	13.694	»	31.565	»	432.25	178.0	37.280	2.600	96.93	»	0.224	»	7.158	+ 6.536	1.424 [4]
6	14.421	»	31.495	»	454.19	180.0	37.699	2.300	86.71	»	0.191	»	7.239	+ 7.182	1.440 [5]
7	14.421	»	31.505	»	454.33	200.0	41.888	2.000	83.77	»	0.184	»	8.042	+ 6.379	1.600
8	14.789	»	31.390	»	464.23	210.0	43.982	1.500	65.97	»	0.142	»	8.445	+ 6.344	1.680
9	15.535	»	31.405	»	487.88	222.0	46.495	1.300	60.44	»	0.124	»	8.927	+ 6.608	1.776
10	15.160	»	31.390	»	475.87	232.0	48.589	1.000	48.59	»	0.102	»	9.329	+ 5.831	1.856
11	16.292	»	31.465	»	512.63	246.0	51.521	0.800	41.22	»	0.080	»	9.892	+ 6.400	1.968
12	16.292	»	31.448	»	512.35	250.0	52.360	0.800	41.89	»	0.082	»	10.053	+ 6.239	2.000
13	16.676	»	31.428	»	524.09	264.0	55.292	0.500	27.65	»	0.053	»	10.616	+ 6.060	2.112

1. On a commencé avec un poids de 5 kilogrammes. Les petits robinets ouverts, le frein est facile à régler, mouvement doux. — 2. Moins doux. — 3. L'excentrique chauffe.
4. Un peu plus doux. — 5. Doux jusqu'à la fin.

Expériences faites a la gare de Ségur a Bordeaux en 1864.

Les premières expériences ont eu lieu à la gare de Ségur, l'une des dépendances des chemins de fer du Midi à Bordeaux. Un ancien et solide réservoir en tôle de fer, ayant servi à alimenter une chaudière à basse pression formait le bassin supérieur. Le débit a été calculé par l'observation des niveaux au moyen d'une échelle graduée en dixièmes de millimètre. La surface étant de huit mètres carrés, chaque millimètre de dénivellation représentait une dépense de huit litres. L'eau était versée dans une cuve par un tube muni d'un robinet avec flotteur de niveau. C'est au fond de cette dernière que la conduite prenait son origine. A $2^m,00$ au-dessus de la machine se trouvait un fort robinet qui, ouvert en plein, offrait une section égale aux $\frac{8}{5}$ de celle de la conduite. Sous lui était un réservoir d'air destiné à rendre moins durs les chocs que les variations du mouvement du piston pouvaient causer. L'orifice d'échappement du liquide se prolongeait par un tube de $1^m,00$ plongeant de $0^m,04$ dans une cuve, d'où l'eau se déversait à l'extérieur par toute sa circonférence. Pour l'une des expériences ce tube a été enlevé.

Voici quelles sont les dimensions du moteur et quelles étaient celles des conduites. Les hauteurs H, H', H″..... ayant varié pendant les expériences, seront indiquées au moment du besoin.

$$H''' = 0^m,96 \quad D = D_2 = D_3 = 0^m,08 \quad L = 6^m,94 \quad L_3 = 0^m,96$$

$$p = 0^m,30728 \quad l = 0^m,018 \quad R = 0^m,12 \quad E = 0^m,01$$

$$\rho = 0^m,038 \quad K = 62^k,20 \quad r = 0,041 \quad r' = r'' = 0,032$$

$$r''' = 0^m,047$$

on a pris pour coefficients les suivants :

$$\mu = 0,60$$

parce que l'orifice de sortie supérieur était à vive arête ;

$$f = 0,23,$$

au lieu de 0,30 employé par M. Morin pour les pompes ordinaires, parce que le cylindre avait été alézé avec grand soin, et

qu'antérieurement, les essais faits par l'inventeur avaient fait prendre à cette pièce un poli très-brillant et enduit le cuir d'une couche métallique qui lui donnait l'aspect du bronze. Les choses devaient donc se passer comme pour deux surfaces bien polies glissant l'une sur l'autre.

$$f' = 0{,}05$$

qui est peut-être un peu fort, parce qu'il s'agit ici de paliers à mèches dont le godet était entretenu plein d'huile.

$$\beta = 0{,}0032$$

qui est la moyenne des chiffres indiqués par les auteurs qui ont cherché à déterminer ce coefficient.

Les différentes expressions (9) (10) (11) (12) (13) (14) se simplifient à cause de $D = D_2 = D_3$.

Dans l'expression (12) d devient égal à i et par suite

$$d + 2i = 3i.$$

L'expression (11) est nulle dans les séries 5 et 8 que nous examinerons spécialement, parce que le robinet n'y offrait ni étranglement ni élargissement.

Pour le calcul des coudes, il sera commode de se servir des formules (19) et (21) qui sont applicables dans ce cas, comme on l'a dit plus haut.

On a donc :

$$A = a + b + 3i + n + q + s' + t$$

et tout calcul fait on obtient :

$$a = 0{,}443 \quad b + n = 1{,}2640 \quad 3i = 2{,}0049$$
$$q = 2{,}9152 \quad s' = 0{,}3389 \quad t = 1{,}0000$$
$$A = 7{,}9660 \quad \frac{4fE}{D_2} = 0{,}115 \quad \frac{2\rho K f'}{\Delta D^2_2 R} = 0{,}2462$$

à cause de (3)

$$A U^2_2 = A \frac{R^2}{15^2} N^2 = 0{,}0005098\, N^2.$$

L'équation (27) peut donc s'écrire :

$$\frac{PV}{MgH} = 1 - \frac{0{,}0005098}{2gH} N^2 - 0{,}115 \frac{H' + H''}{H} - 0{,}2462 \frac{1}{H}.$$

Pendant la cinquième série, les hauteurs H, H′, H″ se sont tenues, à de très-légères variations près, aux cotes suivantes :

$$H = 8^{m},75 \quad H' = 0^{m},71 \quad H'' = 7^{m},07$$

valeurs qui, introduites dans l'équation du rendement, la ramèneront, toute réduction faite, à la forme :

$$\frac{Pv}{MgH} = 1 - 0,000002969\,N^2 - 0,1304 = 0,8696 - 0,000002969\,N^2.$$

Pour la huitième série, opérée comme la précédente, à robinet entièrement ouvert, on a :

$$H = 8^{m},71 \quad H' = 0^{m},67 \quad H'' = 7^{m},03$$

et l'équation devient :

$$\frac{Pv}{MgH} = 1 - 0,000002983\,N^2 - 0,1298 = 8,8702 - 0,000002983\,N^2.$$

Ces équations sont celles de paraboles qui ont pour diamètre l'axe des ordonnées. Le sommet de la première le coupe à une distance 0,8635, ce qui constitue une limite que le rendement ne pourra jamais atteindre. Ses branches coupent l'axe des abscisses à une distance 539,294 = N mesurée de chaque côté de l'origine.

La seconde équation, celle relative à la série huit, amène à des chiffres peu différents.

En donnant successivement dans chacune d'elles à N les valeurs constatées par l'expérience, on obtient les chiffres portés au tableau dans la colonne des *rendements théoriques;* en reportant sur le tracé graphique (planche 48, fig. 11) les points ainsi déterminés, on a mis en présence les courbes théoriques et expérimentales pour chacune des deux séries dont il s'agit. Il suffit alors d'un coup d'œil pour constater qu'ici, comme pour les autres moteurs hydrauliques, les prévisions théoriques sont vérifiées par les faits.

Le rendement n'est pas susceptible d'un maximum relatif, il augmente à mesure que la vitesse de rotation diminue, jusqu'à l'instant où le mouvement du frein ne peut plus être régularisé, ce qui indique la limite de la marche du moteur. La bonne vitesse du piston est *d'environ* $1^{m},00$. On sait qu'il en est ainsi pour les pompes de fortes dimensions.

Le lieu des rendements observés, présente des ressauts bien sensibles qui concordent généralement avec les observations faites sur le plus ou moins de bruit de la marche; c'est-à-dire que la courbe devient plus régulière quand l'appareil fonctionne sans bruit.

Ces bruits étaient de deux sortes. Aux grandes vitesses, on distinguait très-clairement d'abord celui de fer sur fer, provenant du jeu de la tige du piston dans son guide; puis un choc sourd dans l'intérieur du corps de pompe; le premier avait disparu que le second se manifestait encore; enfin pour les petites vitesses, ils n'étaient plus perceptibles ni l'un ni l'autre. Pour le moment on se contentera de signaler ces circonstances, parce que des expériences, dont il sera question, et qui ont eu lieu sous des chutes différentes, permettent sinon d'expliquer ce fait, au moins de ne pas lui donner une fausse interprétation.

Il faut cependant, pour indiquer les circonstances dans lesquelles la huitième série a été opérée, entrer dans quelques détails sur une disposition prise par M. Perret dans l'espoir d'atténuer les bruits dont on vient de parler. Cet ingénieur pensait qu'ils provenaient de la présence d'un certain volume d'air cantonné dans l'enveloppe cylindrique extérieure, laquelle communique avec la conduite de fuite, ainsi qu'on le voit sur la figure 1. Pour laisser à cet air la liberté de s'échapper, M. Perret mit sur cette enveloppe deux petits robinets qui restèrent ouverts pendant toute la huitième série. Par moments, ils aspiraient l'air extérieur, le refoulaient ensuite, et, à la fin de cette dernière action, crachaient une faible quantité d'eau. Ces actions se reproduisaient périodiquement.

Les robinets étant ouverts, les bruits observés ont été moins violents et se sont apaisés plus tôt. Dans la courbe relative à cette série, la première inflexion concorde avec la diminution des bruits, la seconde sensiblement avec leur cessation absolue. La machine a fonctionné en silence entre 195 et 142 tours par minute, tandis qu'avec les robinets fermés, il n'en avait été ainsi qu'entre 151 et 127. *L'ouverture des petits robinets permet donc de marcher sans bruit plus vite, et empêche de marcher aussi lentement que dans le cas de leur fermeture.*

Mettons actuellement en présence, les expériences qui dans la

cinquième (robinets fermés) et dans la huitième série (robinets ouverts), ont été faites avec la même vitesse de rotation.

SÉRIE.	N	P	PV	RENDEMENT.	Q — Q'
		gr.			
5e.....	186.5	950	37.103	0.609	— 0.548
8e.....		1050	41.009	0.655	— 0.311
5e.....	170.5	1050	37.493	0.644	— 0.200
8e.....		1100	39.279	0.660	— 0.022

Des chiffres en présence, il faut conclure *qu'à égalité de vitesses, les quantités de travail et les rendements sont sensiblement plus élevés avec les robinets ouverts qu'avec les robinets fermés.*

Dans les deux séries pour lesquelles on a calculé les rendements théoriques, ces rendements sont pour les petites vitesses peu différents de ceux constatés par le frein. Ils s'en éloignent d'autant plus que les vitesses de rotation sont plus grandes. Ce fait se présente également pour d'autres moteurs hydrauliques connus. En comparant ici les expériences pendant lesquelles, dans chaque série, le moteur a fonctionné sans bruit, prenant la moyenne des rendements pratiques et des rendements théoriques et cherchant leur rapport, on trouve 0.941. On peut donc dire *qu'en affectant la formule du coefficient* 0.941, *on obtiendra des chiffres qui, dans les limites d'un bon fonctionnement et pour les chutes de huit à neuf mètres, différeront au plus de* $\frac{1}{20}$ *du rendement réel.* Cette approximation est très-suffisante dans la pratique.

Les séries numéros 3, 4, et 1, ont été entreprises dans le but d'étudier l'influence de l'ouverture du robinet d'admission sur la marche du moteur (*).

Le but qu'on se propose d'atteindre par l'emploi des vannes est, en général, de diminuer le travail utile d'une machine motrice, en lui conservant sa vitesse normale. Pour les roues à axe

(*) Les petits robinets ou reniflards n'avaient point encore été posés, ils ne l'ont été que pour la 8e série.

horizontal, la vanne agit sur la dépense d'eau en modifiant l'orifice d'écoulement; avec un robinet, placé sur le trajet d'une conduite, il n'en est pas ainsi; M. d'Aubuisson dit qu'ayant une fois, avec cet organe, diminué la section de quatre-vingt-quatorze centièmes, il n'a constaté qu'un centième de diminution dans le débit. Il était d'autant plus probable qu'il se passerait quelque chose d'analogue pour le robinet d'admission de M. Perret que, dans sa machine, la vitesse de rotation et le débit ont une liaison forcée, puisque c'est le volume engendré par le piston qui règle l'une et l'autre. Il faudra donc admettre que l'action du robinet est ici non de modérer le débit, mais de provoquer des résistances telles que le liquide moteur arrive sur les organes mobiles en y exerçant une pression moindre, comme s'il agissait sous une chute réduite. En un mot, si à égalité de nombre de tours et avec des ouvertures de robinet différentes, la quantité de travail $\frac{1}{2} m V^2$ change, m restant constant, il faut forcément que ce soit V qui subisse des modifications.

Dans le tableau ci-dessous, on a mis en présence les expériences qui, dans les séries dont nous nous occupons, ont été faites avec la même vitesse.

Nos DES SÉRIES.	OUVERTURE du robinet.	NOMBRE de tours par minute N.	DÉBIT par seconde Q.	CHARGE du frein P.	TRAVAIL utile P V.	RENDEMENT $\frac{P V.}{M g H.}$	RENDEMENT théorique.
5	$\frac{1}{1}$	197.1	8.137	gr. 800	kil. 32.746	0.459	0.754
3	$\frac{4}{5}$	197.1	8.077	800	33.245	0.465	0.768
3	$\frac{4}{5}$	162.5	6.272	1050	35.742	0.653	0.7914
4	$\frac{2}{5}$	162.5	6.450	550	18.718	0.331	0.7915
1	$\frac{8}{5}$	125.3	4.880	1200	31.468	0.728	0.823
4	$\frac{2}{5}$	125.2	4.940	1000	26.223	0.605	0.823
5	$\frac{1}{1}$	186.5	6.952	950	37.103	0.609	0.766
1	$\frac{8}{5}$	186.6	7.410	850	33.193	0.506	0.767
5	$\frac{1}{1}$	170.5	6.560	1050	37.493	0.644	0.783
1	$\frac{8}{5}$	170.6	6.840	1000	35.708	0.594	0.783
5	$\frac{1}{1}$	145.6	5.531	1200	36.582	0.757	0.807
1	$\frac{8}{5}$	145.8	5.590	1100	33.546	0.676	0.807

Des deux premières expériences on conclut que : *la réduction de $\frac{1}{5}$ sur l'orifice du robinet ne diminue sensiblement ni l'effet utile ni le rendement.*

Des deux expériences qui forment le second groupe que : *la*

réduction de $\frac{3}{5}$ sur la section du robinet diminue sensiblement de moitié l'effet utile et le rendement.

Du troisième que : *la réduction de $\frac{3}{5}$ sur la section du robinet est plus désavantageuse qu'un élargissement d'autant.*

Du quatrième que : *un élargissement de $\frac{3}{5}$ sur la section du robinet diminue le rendement et l'effet utile d'environ $\frac{1}{10}$.*

La dernière colonne du tableau précédent contient les rendements calculés par la formule théorique en y introduisant les valeurs de N, H', H″, H relatives à chaque cas. Les chiffres obtenus sont sensiblement les mêmes, que la section du robinet ait été ou non modifiée. Les méthodes en usage pour estimer l'effet des élargissements ou des étranglements semblent donc impuissantes ainsi que d'Aubuisson l'a observé.

La sixième série a été opérée dans le but de vérifier les prévisions théoriques à l'égard de l'influence du diamètre de la conduite de pression. Pour cela on avait remplacé les tubes de $0^m,08$ de diamètre par d'autres de $0^m,045$, dont la section est à celle des premiers dans le rapport de $\frac{1}{3.158}$, sensiblement 1 à 3.

En jetant un simple coup d'œil sur les résultats présentés dans cette série et dans celle n° 5, on voit que l'influence dont il s'agit est extrêmement marquée.

Cela s'explique aisément : toutes les résistances que le mouvement du liquide développe dans la conduite donnent lieu à des termes fonction du carré de sa vitesse, qui est d'autant plus grande que le diamètre des tubes est plus petit. M. Perret ayant donné à son piston le même diamètre $0^m,08$ qu'à sa conduite, la vitesse du liquide se trouve la même que celle de cet organe. Or, il a été reconnu que les rendements sont avantageux, quand il parcourt environ un mètre par seconde. On doit en conclure *que l'eau dans les conduits doit être animée d'une vitesse d'environ $1^m,00$ par seconde.*

Si les rendements supérieurs à 0.70 ne se présentaient qu'une fois ou deux dans tout l'ensemble des expériences, on pourrait

les considérer comme entachés d'erreurs, ou tout au moins exceptionnels; mais ils se reproduisent à toutes les séries opérées dans de bonnes conditions : il faut donc les admettre et croire que s'ils sont trop élevés, cela tient à une cause permanente affectant tous les résultats et n'altérant pas leurs rapports entre eux. Le soin avec lequel on a vérifié la surface et les niveaux du bassin de jaugeage ne permet pas de supposer qu'il y ait eu mauvaise appréciation du débit; mais en admettant même qu'il ait eu là quelque inexactitude, on ne peut la supposer telle que le rendement en bonnes conditions puisse descendre au-dessous de celui des bons moteurs hydrauliques, qui sont réputés tels quand ils fournissent au moins 0.60. Le tableau des huit séries faites à Ségur montre que ce chiffre a été largement dépassé dans toutes, sauf celle où la conduite n'avait que $0^m,045$ de diamètre.

La série n° 7 a été opérée avec un volant ne pesant que $22^k,30$ et dont l'anneau avait un diamètre moyen de $0^m,63$. En comparant les résultats obtenus avec ceux de la série n° 5, pour laquelle le volant avait un poids de $52^k,70$ et un diamètre de $0^m,73$, on voit que les rendements sont moins bons pour le petit volant, et qu'avec lui les limites de la marche sont moins étendues, c'est-à-dire que le frein est plus difficile à régler, en un mot, que la marche est moins régulière.

Quand on a commencé les essais, on ne s'était pas aperçu que le robinet régulateur ouvert en plein offrait une section plus grande que celle de la conduite; ceci explique pourquoi les séries nos 1 et 2 ont eu lieu avec des sections de robinet différentes de celles des tubes. La chute devait-elle être mesurée jusqu'à l'axe du moteur ou de bief à bief? Telle est la question qui s'éleva dès qu'en calculant de la première façon, on eut obtenu des rendements supérieurs à 0.81, ce qui à nos yeux doit toujours dépasser la vérité. Pour s'édifier à ce sujet, le tube inférieur haut de $0^m,96$, par lequel l'appareil dégorgeait dans un bassin plein d'eau, fut enlevé; alors l'eau d'échappement tombait librement à sa sortie de la machine; l'écoulement était intermittent comme le mouvement du piston, les jets alternatifs étaient inclinés sur la verticale et animés d'une vitesse très-sensible.

En comparant les quantités de travail accusées par le frein dans

les deux séries, on voit que celles obtenues avec l'adjonction du tube inférieur, sont plus fortes que celles constatées après son enlèvement. Cette seule circonstance suffit pour faire voir que le tube a une influence marquée et que dès lors la chute doit être mesurée de bief à bief. Cet examen montre encore que la présence du tube modère les vitesses et régularise le mouvement, puisque le frein a pu dans ces circonstances recevoir des poids plus légers et plus forts que dans le cas où le tube inférieur avait été enlevé.

D'après ceci, on peut croire que le moteur de M. Perret jouira, comme la turbine Jonval, de la propriété de pouvoir se disposer en un point intermédiaire de la chute; ce qui s'expliquerait absolument comme pour cette machine. Des expériences dans ce sens seraient fort intéressantes.

Expériences faites a l'établissement des eaux de la ville, rue Paulin, a Bordeaux, en 1865.

Grâce à l'obligeance de notre camarade et ami M. Lancelin (*), il nous a été possible d'exécuter une série d'expériences à la chute moyenne de $26^m,486$, dans l'usine des eaux de la ville. Il existe dans l'établissement de la rue Paulin une tour surmontée d'un réservoir destiné à l'alimentation des étages élevés, qui se fait par une conduite de $0^m,35$ de diamètre. Sur elle avait été boulonné et ajusté un bout de tuyau de $0^m,081$ de diamètre intérieur, long de $0^m,33$. De ce tuyau partait un coude en fonte ayant $0^m,08$ de diamètre intérieur et décrivant le quart d'une circonférence de $0^m,50$ de rayon moyen. C'est en dessous que le moteur était installé.

A la sortie de la machine, l'eau tombait dans une caisse longue de $2^m,00$, large de $0^m,368$ et terminée par un déversoir ayant $0^m,22$ de saillie sur le fond. Le débit était jaugé par l'observation de la lame d'eau et calculé par la formule de M. Castel :

$$Q = 0,443 \,.\, LH\sqrt{2gH}.$$

Dans la caisse on avait placé deux cloisons partielles ayant

1. Ingénieur des ponts et chaussées, directeur des travaux de la ville de Bordeaux.

pour but de faire disparaître les mouvements désordonnés du liquide en amont du déversoir. Ce procédé bien connu a parfaitement réussi.

On voit, d'après ce qui précède, que l'installation de la machine était ici toute différente de celle adoptée pour les premières expériences; le moteur était bien le même, mais pour des motifs inutiles à détailler, ses lumières avaient été un peu modifiées. Par suite d'une faute de l'ajusteur, de chaque côté du cylindre elles n'étaient plus égales, les unes présentant un peu moins d'ouverture que les autres.

Les causes de pertes de force vive varient avec les détails de l'installation. Ces pertes ne sont donc pas ici les mêmes que lors des premières expériences. Il en est cependant dont l'expression générale est la même dans les deux cas. Nous donnerons d'abord la dimension des organes qui servent à déterminer celles-ci. En calculant les autres, nous ferons connaître les chiffres qui doivent entrer dans les formules :

$$D=0^{m},35 \quad D_2=0^{m},08 \quad L=24^{m},30 \quad pl=0^{m^2},00416185$$
$$p'l'=0^{m^2},00454020.$$

Comme la machine verse directement ses eaux à l'air libre, il n'y a pas de tube d'échappement, de sorte que dans le cas présent D_3 et L_3 restent sans signification.

On a encore comme précédemment :

$$R=0^{m},12 \quad E=0^{m},01 \quad \rho=0^{m},038 \quad K=62^{k},20$$
$$r=0^{m},041 \quad r'=0^{m},032 \quad r''=0^{m},032 \quad r'''=0^{m},047$$
$$\mu=0.60 \quad \beta=0,0032 \quad f=0,23 \quad f'=0,05.$$

Ces dimensions se rapportant toutes au moteur lui-même qui n'a pas changé. Nous pouvons actuellement calculer toutes les pertes dont il s'agit.

Contraction à l'origine de la conduite de $0^{m},35$ au fond du bassin supérieur (9) :

$$a=\left(\frac{1}{0,6}-1\right)^2\left(\frac{0,08}{0,35}\right)^4=0,001213.$$

Résistances dans la conduite descendante de $0^{m},35$ (10) :

$$b=4\times 0,0032\times 24,30\times\frac{\overline{0,08}^4}{\overline{0,35}^5}=0,002426.$$

Résistances dans le tube horizontal qui a $0^m,081$ de diamètre et $0^m,33$ de long :

$$b' = 4 \times 0,0032 \times 0,33 \times \frac{\overline{0,08}^4}{\overline{0,081}^5} = 0,04962.$$

Résistances dans le tube coudé à la suite, lequel a $0^m,05$ de diamètre et $0^m,79$ de développement :

$$b'' = 4 \times 0,0032 \times 0,79 \frac{\overline{0,08}^4}{\overline{0,05}^5} = 1,305405.$$

Passage du liquide de la conduite de $0^m,35$ à celle de $0^m,081$:

$$c = \left(\frac{1}{\overline{0,35}^2} - \frac{1}{\overline{0,081}^2}\right)^2 \overline{0,08}^4 = 0,8524.$$

Passage de la conduite de 0,081 à celle de 0,08 :

$$c' = \left(\frac{\overline{0,08}^2}{\overline{0,081}^2} - 1\right)^2 = 0,000612.$$

Passage de la conduite de 0,08 aux lumières d'admission dont la section est $p\,l = 0^{m^2},0041\,6185$ (12) :

$$d = \left(1 - \frac{\pi \times \overline{0,08}^2}{0,0083237}\right)^2 = 2,05639.$$

Épanouissement du liquide sortant des lumières et pénétrant dans le cylindre de $0^m,08$ (13), expression identique : il faudra donc prendre

$$i + d = 2\,d.$$

Passage du liquide du cylindre dans les lumières de sortie dont la section est $p'\,l' = 0^{m^2},0045402$:

$$i' = \left(\frac{\pi \times \overline{0,08}^2}{0,0090804} - 1\right)^2 = 1,48657.$$

Épanouissement du liquide sortant de ces lumières et pénétrant dans l'enveloppe d'échappement dont la section a été prise par l'inventeur, égale à celle du cylindre de $0^m,08$, ce qui donne un terme i'' identique au précédent : il faudra donc prendre

$$i' + i'' = 2\,i' \text{ (*)}.$$

(*) Quand le liquide entre par l'autre côté du cylindre, les termes d, i, i', i'' se reproduisent, mais en sens inverse. La différence des valeurs de $p\,l$ et $p'\,l'$ est donc sans effet sur les équations.

Il reste actuellement à constater l'influence des divers coudes.

A l'entrée du tube de $0^m,081$ le liquide sortant de celui de $0^m,35$ décrit sur un cercle de $0^m,1073$ de rayon un arc long de $0^m,17$:

$$j = (0,0039 + 0,0186 \times 0,1073) \frac{0,17}{\overline{0,1073}^2} \left(\frac{1}{\overline{0,35}^2} + \frac{1}{\overline{0,081}^2} \right)^2 \frac{\overline{0,08}^4}{4}$$
$$= 0,02302.$$

A la sortie du tube de $0^m,081$, l'eau pénètre dans un coude en fonte, dont l'axe est formé par un arc de cercle décrit avec $0^m,50$ de rayon ; le trajet est d'un quart de circonférence et s'opère avec une vitesse U_2, puisque la section est la même que celle du cylindre qui a $0^m,08$ de diamètre.

$$j' = (0,0039 + 0,0186 \times 0,50) \frac{0,79}{\overline{0,50}^2} = 0,04172.$$

Quand l'eau pénètre dans l'enveloppe d'introduction en sortant du tube de $0^m,08$, elle décrit un coude à angle droit, mais sans changer de vitesse parce que la section annulaire de cette enveloppe a été faite égale à l'aire du tuyau de $0^m,08$; le rayon du coude est $r = 0^m,041$ (15).

$$q = (0,0039 + 0,186 \times 0,041)) \frac{\pi}{2 \times 0,041} = 0,179112.$$

De l'enveloppe, l'eau traverse les lumières et pénètre dans le cylindre en suivant un coude de 180°, sur une circonférence ayant $r' = 0^m,032$ pour rayon. Elle est animée dans le trajet sensiblement de la vitesse moyenne qu'elle a dans ces lumières ayant $pl = 0^{m^2},0041685$ de section (16).

$$q' = (0,0039 + 0,0186 \times 0,032) \frac{\pi^3}{0,032} \times \frac{\overline{0,08}^4}{\overline{4 \times 0,0041685}^2} = 2,56682.$$

Le liquide est soumis à une perte analogue dans les lumières d'échappement qui ont une aire $p'\,l' = 0,0045402$ (17).

$$q'' = (0,0039 + 0,0186 \times 0,032) \frac{\pi^3}{0,032} \times \frac{\overline{0,08}^4}{\overline{4 \times 0,0045402}^2} = 2,16365.$$

Enfin quand, de l'enveloppe de sortie, l'eau se rend dans le tube très-court qui la jette au dehors, elle décrit un coude d'où résulte une perte analogue à celle déjà indiquée plus haut par l'équation qui donne q.

$$q''' = (0,0039 + 0,0186 \times 0,047) \frac{\pi}{2 \times 0,047} = 0,15999.$$

En faisant la somme de toutes les quantités obtenues par les expressions précédentes, on aura :

$$\mathrm{A} = a + b + b' + b'' + c + c' + 2d + 2i' + j + j' + q + q' + q'' + q''' \\ = 14,43191.$$

Au moyen de cette valeur de A on calcule aisément le terme $\mathrm{A}\,\frac{\mathrm{U}^2_2}{2g\mathrm{H}}$ de l'équation (27) et on trouve :

$$\mathrm{A}\,\frac{\mathrm{U}^2_2}{2g\mathrm{H}} = 0,00004707655\,\frac{\mathrm{N}^2}{\mathrm{H}}.$$

Les termes relatifs aux frottements des tourillons et du piston restent les mêmes que dans les premières expériences et comme

$$\mathrm{H}' + \mathrm{H}'' = \mathrm{H},$$

l'équation du rendement se réduit facilement à

$$\frac{\mathrm{P\,V}}{\mathrm{M}\,g\,\mathrm{H}} = 0,885 - \frac{1}{\mathrm{H}}\,(0,00004707655\,\mathrm{N}^2 - 0,2462).$$

En y donnant successivement à N et à H les valeurs indiquées au tableau des séries, on obtient les rendements théoriques qui s'y trouvent consignés.

La série d'expériences opérée et qui porte le n° 9, planche 48, fig. 12, confirme ce que l'on savait déjà sur la marche du rendement, l'absence de maximum absolu et l'avantage des petites vitesses du piston. Il faut observer cependant qu'ici elles ne descendent point au-dessous de 1,47, chiffre plus élevé que celui constaté précédemment. On recherchera plus loin les causes de cette circonstance.

A Paulin, les rendements théoriques sont sensiblement les mêmes qu'à Ségur; mais ceux observés sont moindres, puisqu'ils n'atteignent que 0,617. Au premier abord on pourrait croire que cela tient à la différence des procédés de jaugeage. A Paulin, on s'est servi d'un déversoir et du coefficient 0,443 donné par M. Castel. Supposons le trop fort et prenons celui de 0,410, obtenu par MM. Poncelet et Lesbros pour des cas un peu différents, prenons même celui habituel de 0,393; le rendement s'élèvera à 0,67 ou 0,70 au plus, et restera encore inférieur à

ceux constatés à Ségur. Il faut donc admettre que *les rendements diminuent à mesure que la chute augmente*. Cela s'explique par l'accroissement de pression qui a une influence marquée sur plusieurs des pertes que nous n'avons pu calculer. Une autre cause dont on parlera s'ajoute encore à celle-ci.

Les différences entre les rendements théoriques et pratiques sont telles que le coefficient 0,941 ne suffirait plus pour faire concorder avec une approximation suffisante les résultats de la formule avec ceux accusés par le frein.

En comparant les chiffres obtenus pour les vitesses de rotation comprises entre 185 et 245 tours, celles du piston étant de $1^{m},47$ à $1^{m},96$, et prenant comme précédemment, le rapport des moyennes, on trouve 0,703 et l'approximation n'est plus que du 1/8.

Pour étudier plusieurs circonstances sur lesquelles on ne s'est pas encore appesanti, il convient de parler d'expériences qui, pour être défectueuses, n'en ont pas moins donné d'utiles renseignements.

Expériences faites a Arcachon en 1864.

La description de la machine fait comprendre qu'en appliquant une force motrice quelconque à l'arbre du volant, l'appareil fonctionnera comme pompe aspirante et foulante. C'est même en opérant de cette façon que l'on montait dans le réservoir en tôle de la gare de Ségur, le liquide dont l'action devait ensuite faire mouvoir le piston. Le rendement en volume avait été satisfaisant, mais faute de dynamomètre, on n'avait pu se rendre compte du rapport du travail utile au travail moteur. Une occasion se présentait d'opérer dans ce sens, on l'a saisie avec empressement.

La compagnie avait alors à Arcachon une locomobile qui élevait à $31^{m},50$ environ l'eau douce nécessaire au service du Casino, des villas et des jardins. Cette eau était reçue dans un très-grand bassin en bois d'où partaient les conduites de distribution. Celle d'élévation était formée de tubes en fonte joints avec des tresses d'étoupe et du plomb coulé, puis maté par-dessus. Il était aisé de commander la machine de M. Perret avec la loco-

mobile préalablement tarée et d'estimer le rendement en eau élevée; on pouvait ensuite, au moyen du bassin et de la conduite expérimenter cette machine comme moteur sous la chute de 31m,50. Une autre question pouvait encore être étudiée; l'eau d'Arcachon provient des infiltrations des dunes et entraîne avec elle une certaine quantité de sable fin et siliceux qui se dépose au fond des réservoirs quand le liquide y est au repos. Quel serait l'effet de ce sable sur les organes intérieurs de l'appareil?

Tout fut préparé; mais avant le commencement des essais, les ouvriers, les curieux mirent maintes fois l'appareil en marche, et quand nous arrivâmes, la machine, qui s'était bien comportée à Ségur, fonctionnait très-médiocrement, s'arrêtait net par moments, débitait de l'eau au repos, bref toutes les prévisions étaient déjouées.

Pour jauger on avait préparé une caisse à déversoir qui recevait les eaux à leur sortie du moteur et permettait de les mesurer comme on le fit plus tard à Paulin. Elles étaient toujours troubles, ce que l'on attribuait avec raison au sable et ce qui empêchait de voir le fond de la caisse, que l'on ne songeait pas, du reste, à examiner. Cependant un jour l'idée en vint, et, outre abondance de sable, on y trouva quantité de morceaux de plomb plats et coupés. C'étaient les jets de coulée qui avaient traversé l'étoupe lors de la confection des joints. Tant que la conduite n'avait servi qu'à l'ascension, ces jets étaient restés en place; quand elle fut employée comme conduite de pression, ils furent entraînés par leur poids et le courant; arrivés dans les enveloppes ils étaient cisaillés dans les lumières : de là ces accoups, ces arrêts que l'on n'avait su comment expliquer.

On procéda au démontage et l'on vit qu'il fallait recommencer l'ajustage. Mais quand la machine fut remise en état, l'installation du château d'eau d'Arcachon, qui n'était que provisoire, avait disparu, l'occasion était manquée. Ce fut alors que pour remédier à ce contre-temps, autant que possible, on entreprit les expériences à l'usine des eaux de Bordeaux.

La série faite à Arcachon et présentée la dernière au tableau planche 48, fig. 13, série 10, a été, on le voit, opérée dans des conditions telles qu'il est impossible d'en rien tirer d'exact comme rendement, mais elle fournit des indications utiles pour éclairer les questions qui restent à traiter.

EXAMEN DES RÉSULTATS PRÉSENTÉS PAR LES EXPÉRIENCES OPÉRÉES DANS LES TROIS LOCALITÉS.

Dans toutes les séries opérées à Ségur, et à de très-rares exceptions près, le volume d'eau Q débité par seconde s'est trouvé inférieur à celui Q′ engendré par le piston. Ce même fait s'est présenté à Paulin; l'inverse a eu lieu à Arcachon. On a dit l'état dans lequel, à cette époque, se trouvait le cylindre, et on ne peut douter que telle ne fut la cause de cet excès de débit, puisque ce cylindre ayant été réparé et muni de segments suédois, les choses se sont passées comme précédemment.

L'influence du jeu annulaire doit nécessairement se faire d'autant plus sentir que la colonne de pression est plus haute et le rendement diminuer à mesure que la hauteur de chute augmente. Appelons :

a la largeur du jeu annulaire mesurée dans le sens du rayon; elle dépend de l'habilité de l'ouvrier et non des dimensions de la pièce tournée.

On sait que b et m étant des nombres constants, h indiquant la pression intérieure, mesurée en atmosphères, l'épaisseur à donner aux tubes est :

$$e = b\,h\,D_2 + m.$$

L'eau qui s'écoule par le jeu annulaire est improductive, car celle qui agit sur la surface du piston est la seule qui ait un effet dynamique. Le rapport du premier volume au second est :

$$\frac{2\pi\left(\frac{D_2}{2} + b\,h\,D_2 + m\right)a}{\pi\frac{D_2^2}{4}} = 8\frac{a}{D_2}\left(\frac{1}{2} + bh + \frac{m}{D_2}\right).$$

Expression qui est d'autant moindre que D_2 est plus grand. *Les pertes par le jeu annulaire ont donc d'autant moins d'influence que le diamètre du piston est plus grand.*

Lors des expériences d'Arcachon, les pertes $Q - Q'$ se sont parfois élevées à plus de moitié du débit total. Sans avoir la prétention d'estimer exactement ce que le rendement aurait été sans elles, on peut arriver à montrer qu'elles ont dû le modifier singulièrement. La portion de travail moteur utilisée est :

$$\Delta\,Q'\,H$$

Appelons θ le rendement constaté par le frein, on a

$$P v = \theta \Delta Q H.$$

Le rapport du travail utile au travail utilisé devient alors :

$$\frac{P v}{\Delta Q' H} = \theta \frac{Q}{Q'}.$$

Appliquons cette formule à la première expérience de la dixième série qui a fourni un rendement de 0,279; on en tirera :

$$\theta \frac{Q}{Q'} = 0{,}625,$$

chiffre bien supérieur. Nous n'entendons lui donner aucune signification absolue, mais seulement en tirer cette conséquence que les pertes dont il s'agit sont fort préjudiciables au rendement.

Le signe de la différence Q — Q', quand le jeu annulaire est aussi réduit que possible, montre qu'en pareil cas, le cylindre ne se remplit pas d'eau. En reportant sur les figures 8, 11 et 12, planche 48, et relatives aux séries 5, 8 et 9, les valeurs de Q — Q', celles affectées du signe — étant placées au-dessus de l'horizontale, on obtient des lignes irrégulières qui cependant présentent entre elles une certaine analogie. Leurs points de rebroussements sont vis-à-vis les points d'inflexion du lieu des rendements qui, on peut le vérifier dans les observations jointes aux tableaux, correspondent aussi aux variations perceptibles des bruits observés pendant les expériences. Nous faisons abstraction du ferraillement auquel on a promptement remédié.

Il est donc probable que les bruits et les chocs observés résultent de l'incomplète introduction du liquide moteur dans le cylindre. On a cru d'abord que le piston se trouvant au milieu de sa course, et marchant en ce moment avec une vitesse égale à celle du bouton de la manivelle, il pouvait se faire que cette vitesse fût plus grande que celle de l'eau affluente. Il aurait fallu pour cela un accroissement momentané des résistances, provoqué par l'accélération du mouvement du liquide, qui n'eût pu alors se présenter en suffisante quantité. On avait tous les éléments nécessaires pour faire ce calcul. Il montra que, dans les circonstances où l'on s'était trouvé, il n'avait pu en être ainsi. On aurait

acquis la même conviction en examinant les résultats présentés par la sixième série, car si telle eût été la cause, il est évident qu'avec des tubes de $0^m,045$ les faits eussent été plus accentués qu'avec ceux de $0^m,08$; or il n'en est rien. La cause n'est donc pas là.

Après les accidents d'Arcachon, la machine a été rajustée et le calage de l'excentrique remis dans son précédent état. Or, les bruits manifestés à Ségur s'étant reproduits à Paulin, la cause devait nécessairement être la même dans les deux localités. On fut donc amené à examiner si la distribution était bien telle que M. Perret avait voulu la faire. On vit alors qu'il n'en était pas ainsi; que la distance des séparations dans l'enveloppe différait de $0^m,005$ de celle des lumières du cylindre. En étudiant ce fait, par un tracé analogue à celui indiqué par M. Rech pour le mouvement des tiroirs dans les machines à vapeur, on put constater qu'il avait les conséquences suivantes :

D'un côté seulement, marche à contre-pression pendant 0,000053 de la course du piston (*);

Des deux côtés, fermeture anticipée des ouvertures d'admission, laissant le vide se former derrière le piston, vide où le liquide se précipitait de suite après, aspiré par la lumière d'émission, pour en ressortir presque immédiatement, quand le piston changeait le sens de sa marche.

Les bruits et les secousses sont évidemment dus à la compression momentanée d'une part, à ces brusques changements de vitesse résultant de l'action du vide, de l'autre; circonstances provenant d'un très-léger vice dans le règlement des organes de distribution.

Ceci amène à dire comment M. Perret entend les régler.

Soit OB = R (fig. 15), le rayon du cercle décrit par le bouton de la manivelle,

O A = l celui du cercle décrit par le centre de l'excentrique.

La manivelle et l'excentrique sont calés à angle droit sur l'arbre du volant. Le bouton étant à la main amené en B, c'est-à-

(*) Voici comment ce chiffre a été obtenu. On cherche quel est le déplacement angulaire du point A quand le point D recule vers B' d'un demi-millimètre. Le déplacement angulaire du point B est le même, et on calcule aisément le déplacement horizontal du piston.

dire le piston à l'extremité de sa course, le centre de l'excentrique est en A. L'articulation D de la tige de commande du cylindre est alors disposée pour que les lumières ne se prêtent ni à l'admission ni à l'émission, ainsi que cela est représenté en *a b*. On mesure alors la distance D A qui est la longueur à donner à la tige de l'excentrique. Avec cette disposition (*) sa course totale est bien M N; mais pendant que le centre de cet organe décrit la demi-circonférence A N A′, les lumières marchent de C N et seulement de C M quand il décrit l'autre demi-circonférence A′ M A. Il s'ensuit que les ouvertures offertes au liquide à l'entrée et à la sortie sont toujours un peu plus petites que *l*, sauf celle d'admission quand, le bouton arrivant en P, le piston se trouve au milieu de sa course. L'admission est donc plus facile quand le piston s'éloigne de l'arbre de rotation que quand il s'en approche.

Dans la machine expérimentée, si les intentions de l'inventeur eussent été exactement remplies, on aurait eu, et l'on a eu en réalité, sauf le défaut déjà signalé :

$$D\,A = L = 0^{m},75 \qquad l = 0^{m},018$$

On en conclut :

$$O\,C = L - \sqrt{L^2 - l^2} = 0,00023.$$

Telle sera donc la différence maximum entre les ouvertures d'admission des deux côtés du cylindre; ce qui est bien peu de chose.

De légers dérangements tels que ceux qui résultent du jeu des organes et de l'usure qui en est la conséquence, suffisent pour faire varier leurs relations et nuire à la rectitude de la distribution. Pour les machines à vapeur, où le fluide moteur est élastique et compressible, les conséquences d'un pareil fait sont, dans certaines limites, sans importance; mais ici le fluide est à très-peu près incompressible. Cependant comme le contact des surfaces du cylindre et de l'enveloppe n'est jamais parfait, le liquide, quand il est comprimé ou tend à se dilater, trouve entre elles un passage qui lui permet ou de s'épancher, ou de faire

(*) Pour bien saisir ceci, il faut avec un morceau de papier séparé, simuler le mouvement des lumières sur la coupe de la machine.

appel à celui du dehors. Cette imperfection même est donc un correctif de celle que peuvent offrir les organes de distribution.

Nous n'avons point encore parlé d'une circonstance sur laquelle il est bon d'appeler l'attention. Le piston entraîné par le volant ne passe pas le point mort sans vitesse; l'eau qui arrivait vers lui est brusquement arrêtée, change son mouvement pour se rendre à l'autre lumière et éprouve continuellement des variations de vitesse. Ce sont là des causes, sinon de bruit, au moins de pertes de force vive. Comme elles se reproduisent deux fois par révolution, leur influence s'accroît avec la rapidité de rotation. Ces effets, pour échapper aux appréciations, n'en sont pas moins aisés à comprendre, et comme la formule ne contient aucun terme qui les représente, cela doit être une des causes de l'écart entre les rendements théoriques et effectifs, écart qui augmente avec la vitesse (*).

Il est à remarquer que dans les lieux des valeurs de $Q - Q'$, planche 18, fig. 11 et 12, il se trouve deux points de rebroussements très-accentués, et que dans les diverses séries, ils ne se reproduisent pas aux mêmes vitesses. On ne peut donc croire que les variations de vitesse soient les seules causes déterminantes. Toute hypothèse faite à cet égard serait donc purement gratuite; espérons que des expériences spéciales et des instruments plus parfaits que ceux dont nous disposions, permettront d'élucider cette question.

Du reste, la théorie et l'expérience montrent que les bons rendements correspondent à des vitesses de piston d'environ $1^m,00$; l'observation a fait reconnaître qu'alors il n'y avait ni chocs ni bruit.

La dernière circonstance signalée et les petits défauts de réglementation seront donc sans conséquences fâcheuses pour les emplois industriels du nouveau moteur.

(*) En opérant comme M. Morin pour la turbine Fourneyron, on pourrait déterminer le terme à introduire dans la formule du rendement pour que les chiffres calculés coïncident avec ceux de l'expérience. Mais l'équation ainsi modifiée aurait peu d'utilité, car elle ne se rapporterait qu'à une seule hauteur de chute, et on a vu que tout porte à croire que le rendement varie avec les hauteurs de chute. Il convient donc d'attendre que ce fait soit élucidé par d'autres expériences.

Il est inutile d'ajouter que les *eaux qui charrient des sables sont dangereuses pour la machine*, mais que les petits corps flottants, radicules, feuilles de faible dimension, etc., etc., ne sont pas dans ce cas, se trouvant cisaillés dans les lumières et n'offrant point assez de résistance pour nuire à la précision des surfaces de contact.

On a vu par les cinquième et septième séries que le poids du volant avait un effet marqué sur le rendement de la machine, il est donc bon de chercher à déterminer les proportions à donner à ce modérateur.

Assimilons le nouveau moteur à une machine de Watt à pleine pression, le poids et le diamètre du volant sont, pour elle, déterminés par la formule pratique

$$pv^2 = 5829,4 \,.\, n\frac{t}{N}.$$

Dans laquelle on désigne par :

- p le poids de l'anneau;
- v la vitesse de sa circonférence moyenne;
- t le travail utile estimé en chevaux;
- N le nombre de révolutions par minute;
- n un nombre régulateur pris habituellement par Watt égal à 32;
- r le rayon de la circonférence de l'anneau;
- d son diamètre.

Pour faire entrer dans cette formule le travail t' en kilogrammètres, il faut observer que $t' = 75\,t$; d'où

$$t = \frac{t'}{75},$$

on a :

$$v = \frac{\pi d N}{60}.$$

Au moyen de ces substitutions et toutes réductions faites, on tirera de la formule de Watt :

$$n = 0.0000352625\, d^2 p \frac{N^3}{t'}.$$

Prenons actuellement dans les séries 7, 5 et 9 le cas qui a

présenté le plus fort rendement, et cherchons la valeur de *n* correspondante. Pour la septième, le diamètre de la circonférence moyenne de l'anneau du volant était de $0^m,63$, et son poids de $15^k,400$. Pour la cinquième et la neuvième, le diamètre était de $0^m,73$ et le poids de $42^k,849$. Les chiffres obtenus sont reproduits au tableau suivant :

Nos DES SÉRIES.	CHUTE H.	$d^2 p$.	NOMBRE de tours par minute N.	TRAVAIL utile t'.	RENDEMENT	VITESSE moyenne du piston.	NOMBRE régulateur n.
7	8.67	6.11228	159.8	38.498	0.691	1.278	22.85
5	8.75	22.83370	127.9	34.146	0.789	1.023	49.35
9	26.84	22.83370	185.0	123.658	0.617	1.470	41 24

Il est impossible de ne pas reconnaître que les vitesses du piston sont d'autant moindres et les rendements plus élevés, que le volant est plus énergique.

Il y a donc lieu de croire qu'on aurait marché à Paulin avec plus d'avantage, si le volant avait été mieux proportionné au travail à obtenir.

Il résulte encore de ces chiffres, que *pour le moteur à pression d'eau, le nombre régulateur* n *ne doit pas être pris inférieur à cinquante,* du moins pour les cas analogues à ceux où cette machine a été expérimentée.

Les expériences d'Arcachon offrent une particularité qui mérite l'attention. Le piston y a marché à une vitesse de $0^m,852$ avec le volant de $0^m,73$ de diamètre. Le calcul précédent donne pour *n* dans les circonstances où se trouvait alors la machine :

$$n = 11,46$$

chiffre bien inférieur à celui constaté pour les vitesses de $1^m,00$. Ce fait qui cadre avec celui d'une perte considérable de liquide par le jeu annulaire, indique une corrélation qui permet d'ex-

pliquer le premier par le second. L'eau trouvant dans le jeu un moyen facile de se rendre vers celle des lumières qui lui est présentée et vers les issues qui la mènent au dehors, n'est plus astreinte à changer brusquement sa vitesse et le sens de son mouvement; elle n'agit plus par choc sur les surfaces qui arrêtent momentanément son écoulement; dès lors le volant n'a plus besoin de la même force vive pour exercer son action modératrice; ainsi se confirme tout ce qui a été dit au sujet des bruits correspondants aux grandes vitesses, et des diminutions de rendement qui les accompagnent.

Conclusions.

Les conclusions auxquelles les expériences ci-dessus ont donné lieu peuvent se résumer succinctement comme il suit :

Le rendement du *moteur à pression d'eau* augmente à mesure que la vitesse du piston diminue.

Quand cette vitesse est d'environ 1^{m},00 par seconde, ainsi que celle du liquide dans sa conduite, le rendement pour les chutes expérimentées, est égal à celui des bons moteurs hydrauliques.

Le rendement semble diminuer à mesure que la chute augmente.

La vitesse du piston étant d'environ 1^{m},00 par seconde, la machine fonctionne sans chocs et sans bruit.

Les dimensions des volants à adapter à ces moteurs peuvent se calculer par la formule en usage pour les machines de Watt à pleine pression, en donnant à n une valeur qui ne doit pas être inférieure à 50.

Le bon fonctionnement de ce moteur dépendant de la précision des ajustages, il convient de garnir le cylindre dans le voisinage des lumières, de segments d'acier.

Pour le même motif, ce moteur ne peut être employé quand les eaux sont chargées de sables.

Le *moteur à pression d'eau* est particulièrement propre à utiliser de faibles volumes d'eau sous forte chute.

Si un usage plus prolongé ne fait point ressortir de défauts

autres que ceux constatés jusqu'à présent, cette nouvelle machine comblera une lacune dans la série des moteurs hydrauliques connus.

Les expériences dont on vient de rendre compte avec tous les développements nécessaires pour faire juger une machine nouvelle, ne sont pas les seules qui aient été opérées. M. de la Roche-Tolay, ingénieur des ponts et chaussées, sous-directeur de la construction aux chemins de fer du Midi, avait conçu la pensée d'employer le moteur à pression d'eau à l'actionnement du perforateur à diamant construit par M. Pihet et inventé par M. Leschot. M. Perret fit établir dans ce but un moteur spécial, analogue aux machines oscillantes, très-ramassé et ne pesant que 90 kilog. Les essais eurent lieu à Port-Vendres où la compagnie se prépare à creuser un tunnel dans un talschiste extrêmement dur. Un souterrain de 9 à 10 mètres de longueur, a été excavé comme spécimen. Ces tentatives, opérées avec tous les embarras qui résultent de l'emploi de procédés nouveaux, ont donné des résultats tels que l'on s'occupe activement aujourd'hui des études qui doivent avoir pour résultat de faire entrer dans le domaine de la pratique industrielle, les idées conçues par MM. Leschot, Pihet, Perret et de la Roche-Tolay, en les combinant entre elles. On ne saurait pour le moment livrer à la publicité des résultats intéressants, sans nul doute, mais incomplets. Il suffira d'en présenter un court résumé.

L'avancement dans la roche a été au minimum de $0^m,01$ par minute, chiffre qui semble devoir être adopté comme présentant le plus d'avantages sous le rapport de l'emploi économiquc de l'eau. Mais la moyenne des avancements constatés s'est élevée à $0^m,018$ par minute.

Ce moteur a été expérimenté sous des chutes de 103 mètres, 80 mètres, 70 mètres; à 60 mètres il ne pouvait plus conduire le perforateur.

Le débit a varié de 2,50 à 4 litres par seconde; le maximum de travail a été de soixante-dix-neuf kilogrammètres, en-

viron un cheval. Les rendements ont été faibles, n'ont pas dépassé 0,40 et se sont tenus le plus généralement vers 0,20. Les pertes par le jeu annulaire ont été relativement fortes. Il se pourrait que le système oscillant, qui soumet le cylindre à de fortes pressions latérales contre les parois de l'enveloppe, fût la cause de ces pertes; il se pourrait encore qu'elles fussent la conséquence de la hauteur des chutes. Ce fait sera élucidé. Il n'en est pas moins acquis que de très-minces volumes, sous chutes considérables, peuvent être désormais utilisés. Ceci serait déjà un avantage, même avec de faibles rendements; car dans les contrées montagneuses où de telles chutes sont possibles, l'eau est généralement abondante dans les vallées accessibles à l'industrie.

Un autre modèle a été encore établi par M. Perret pour l'emploi spécial de machine à vapeur. Le diamètre du cylindre est de $0^m,120$, la course de $0^m,250$.

Cette machine a été essayée pendant la dernière exposition de Bordeaux par les soins de M. Tresca, membre du jury; les rendements ont été estimés par le rapport du travail mesuré par le frein, à celui constaté au moyen des diagrammes obtenus avec l'indicateur de pression.

La première expérience a duré vingt-six minutes; l'effet utile a été de cent soixante-quinze kilogrammètres, pour une vitesse de soixante tours par minute, le rendement s'est trouvé de 0,864.

La deuxième a duré soixante-quinze minutes; effet utile trois cent trente et un kilogrammètres, vitesse cent trente-six, rendement 0,774.

La troisième a duré trente minutes; effet utile trois cent quatre-vingt-quatre kilogrammètres, vitesse cent quatre-vingt-un, rendement 0,725.

Ces essais de petite durée ne sont en réalité qu'un premier aperçu. Ils montrent cependant que, comme pour l'actionnement par l'eau, il y a avantage à se tenir aux petites vitesses. La machine fonctionnait à pleine pression à très-peu près, les lumières n'ayant qu'un recouvrement d'un millimètre.

Les rendements sont pareils à ceux des bonnes machines en usage, et les avantages du mécanisme de M. Perret consistent surtout dans la simplification des organes secondaires; les tiroirs

en particulier disparaissent. Outre des essais plus sérieux sur la dépense d'eau, de combustible, etc., etc., il y a encore à étudier la question de la détente variable, qui pourra peut-être nécessiter des organes qui, compliquant la machine, lui feront perdre sa principale qualité.

Ce qui est relatif à l'actionnement des perforateurs et à l'emploi de la vapeur, n'est ici que comme renseignement général, et pour faire comprendre aux ingénieurs l'importance des études dont le moteur à pression d'eau est l'objet en ce moment.

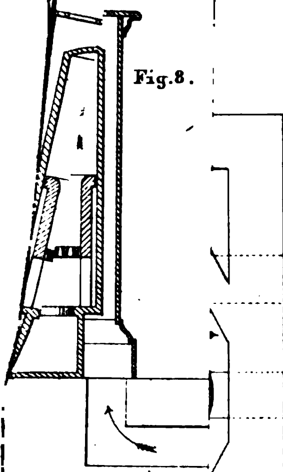
TABLE DES MATIÈRES

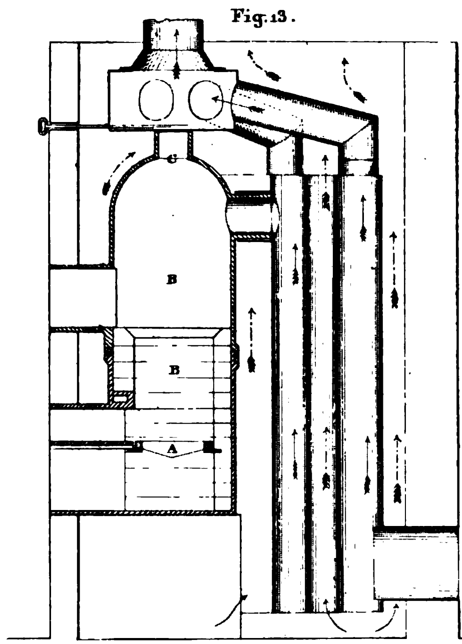
CONTENUES

DANS LE SIXIÈME VOLUME.

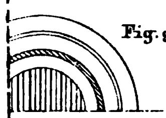
Paris. — Imprimerie de P.-A. BOURDIER et Cie, 6, rue des Poitevins.

...ÈRE A TUYAUX VERTICAUX.

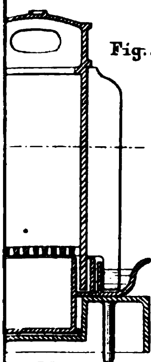




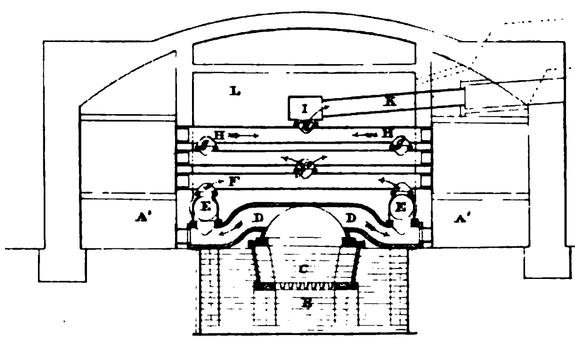
...IRCULATION D'AIR.



...E GURNEY.



...E A TUYAUX HORIZONTAUX.



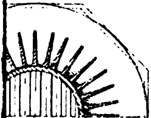


Fig. 4.

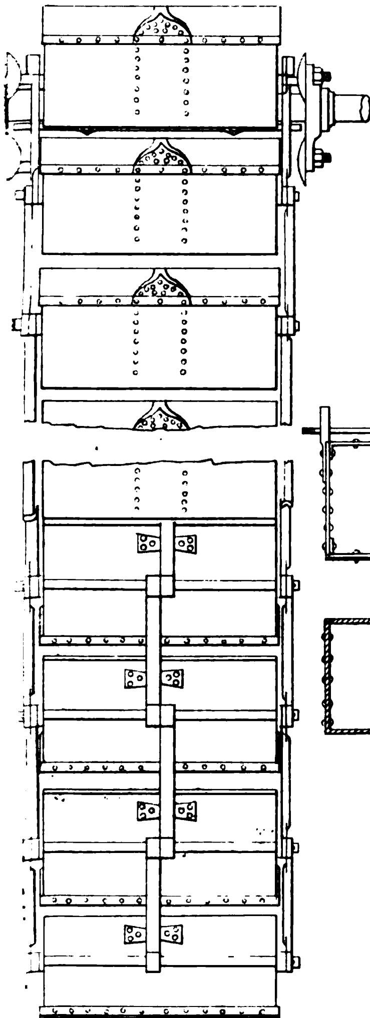


Fig. 5.

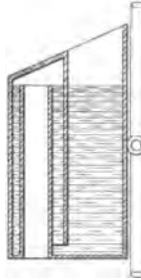


Fig. 6.

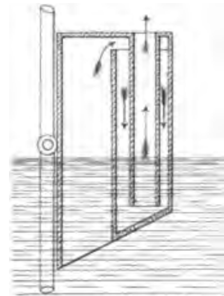
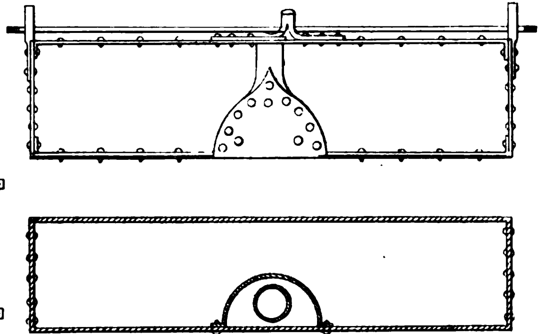


Fig. 7.



Echelle des Fig. 1, 2, 3, 4 — 0,05

Echelle des Fig. 5, 6, et 7 — 0,10

Fig. 5.

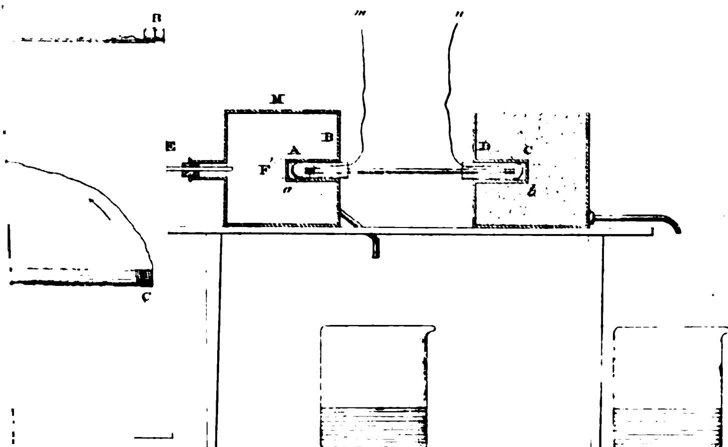
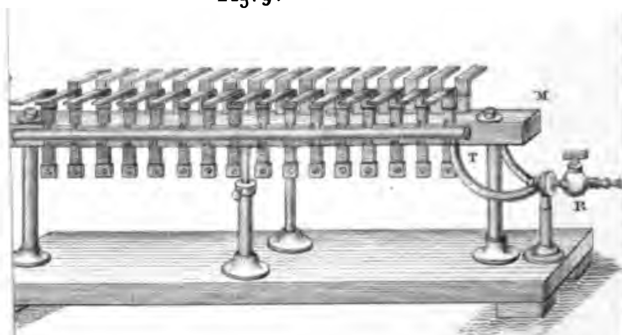
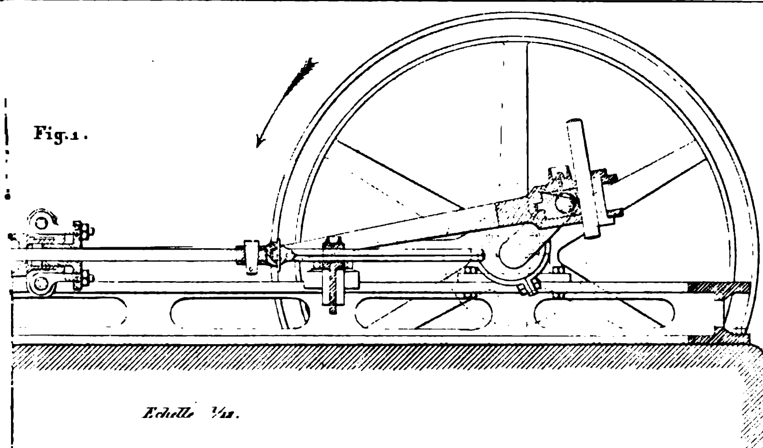
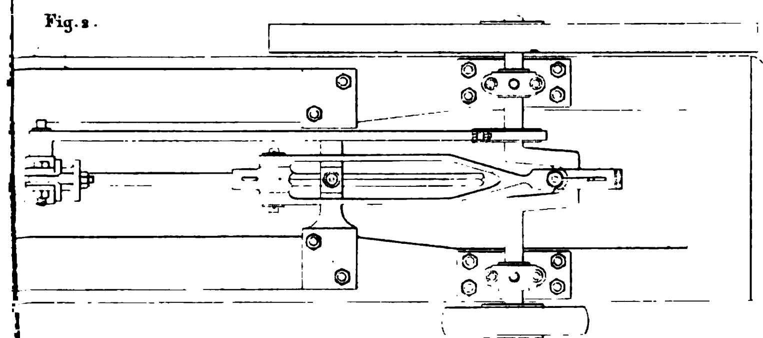
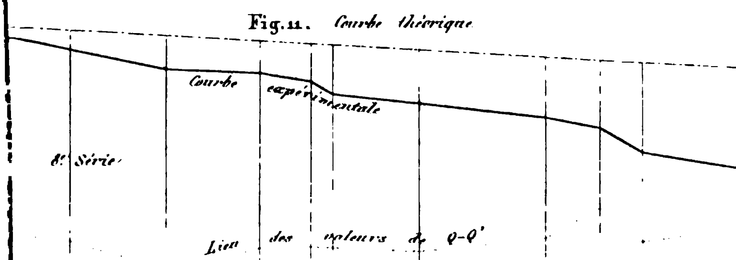


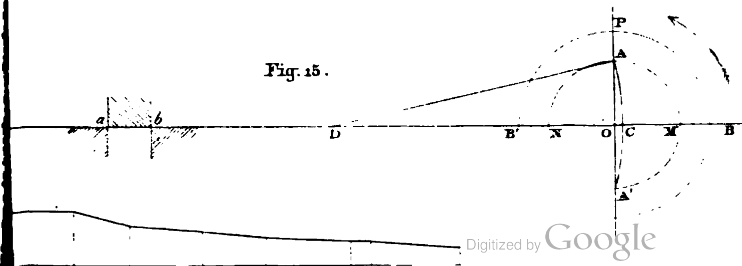
Fig. 9.




Fig. 1.
Echelle 1/12.


Fig. 2.


Fig. 11. Courbe théorique
Courbe expérimentale
8e Série
Lieu des valeurs de Q-Q'


Fig. 15.
P
A
a
b
D
B'
N
O
C
M
B
A'




3 9015 06353 1209
UNIVERSITY OF MICHIGAN

